

# ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN ÓPTIMA Y CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE PARA UNA CENTRAL DE BIOMASA FORESTAL RESIDUAL EN EL EJE PAMPLONA-JACA



Máster Universitario en  
Energías Renovables: Generación Eléctrica

Trabajo Fin de Máster

1. Memoria

Iñaki Sánchez-Valverde Erice  
Eduardo Prieto Cobo  
Ignacio García Ruiz  
Pamplona, 28 de septiembre de 2018

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



## RESUMEN

Se realiza un análisis para la instalación de una central de biomasa forestal mediante la utilización de restos generados en las operaciones silvícolas de limpieza, poda y cortas parciales o finales de los montes, que van a ser utilizados como combustible.

En primer lugar, se realiza un análisis de las diferentes restricciones a las que están sujetas este tipo de instalaciones. Para ello se utilizan programas SIG y mediante un análisis multicriterio se evalúan las distintas zonas susceptibles de poder albergar una central de biomasa.

Una vez obtenidas las ubicaciones más adecuadas, se realiza un estudio sobre el recurso energético existente en función de los diferentes escenarios propuestos en la memoria de este estudio.

Finalmente, se elige en función de los datos del análisis energético el lugar óptimo para la instalación de la central.

Palabras clave: Biomasa, energías renovables, residuo forestal, SIG, análisis multicriterio, caracterización de zona, recurso forestal, Navarra, Aragón



ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN ÓPTIMA Y CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE  
PARA UNA CENTRAL DE BIOMASA FORESTAL RESIDUAL EN EL EJE PAMPLONA-JACA

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	10
1.1	OBJETIVO.....	10
1.2	JUSTIFICACION DE PROYECTO .....	10
1.2.1	Evaluación de la actual situación energética estatal y regional .....	10
1.2.2	Evaluación de infraestructuras .....	12
1.2.3	Justificación energética y medioambiental.....	13
1.2.3.1.	Evaluación del recurso forestal disponible .....	13
1.2.3.2.	Evaluación del riesgo de incendios forestales.....	16
1.2.4	Análisis de las evaluaciones administrativas, energéticas, infraestructurales y medioambientales.....	17
2	ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE LA CENTRAL.....	18
2.1	ENTORNO DE TRABAJO.....	18
2.2	METODOLOGÍA DE RESTRICCIONES DE CAPAS RÁSTER .....	19
2.2.1	Análisis de Viales.....	19
2.2.2	Espacios Naturales: Red Natura 2000 y Parques Naturales .....	21
2.2.3	Usos del terreno: Corine Land Cover .....	22
2.2.4	Recursos hidrológicos y análisis de zonas inundables .....	25
2.2.5	Red eléctrica.....	29
2.2.6	Intersección del conjunto de restricciones ráster .....	32
2.3	METODOLOGÍA DE RESTRICCIONES DE CAPAS VECTORIALES .....	34
2.3.1	Pendiente máxima de la parcela .....	34
2.4	RESULTADO DE LOS EMPLAZAMIENTOS PARA LAS INSTALACIONES DE BIOMASA FORESTAL.....	35
3	ANÁLISIS DEL RECURSO DISPONIBLE PARA LA INSTALACIÓN DE UNA CENTRAL .....	37
3.1	HIPÓTESIS PREVIAS AL ANÁLISIS .....	37
3.2	CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE.....	40
3.2.1	Metodología para el cálculo del recurso disponible .....	40
3.2.2	Biomasa total disponible .....	42
3.2.2.1.	Cálculo del Índice de Residuos y la superficie de parcela .....	43
3.2.2.2.	Análisis de pendiente óptima para extracción.....	44
3.2.2.3.	Cálculo de la Biomasa Total .....	45
3.2.3	Biomasa Accesible .....	46
3.2.3.1.	Parcelas ubicadas a >1700 m .....	46
3.2.3.2.	Cálculo de la Biomasa Accesible.....	47
3.2.4	Biomasa potencial Residual .....	47
3.2.4.1.	Cálculo de la Biomasa potencial Residual .....	47
3.2.5	Área de influencia de la central .....	48
3.2.6	Área de compartida .....	49
3.3	INTERSECCIÓN ENTRE LAS PARCELAS APTAS Y EL ÁREA DE INFLUENCIA .....	49
3.3.1	Análisis de distancia a vías de comunicación.....	50
3.4	MAPAS Y DISTRIBUCIÓN ENERGÉTICA DE LAS PARCELAS APTAS.....	50
3.4.1	Escenario 1: Eficiencia a 35 km .....	50
3.4.2	Escenario 2: Eficiencia 35 km con SET a 4,5 km Berdún.....	54
3.4.3	Escenario 3: Máxima cobertura con la Subestación de Berdún 4,5 Km.....	57
3.4.4	Escenario 4: Máxima cobertura a 50 km .....	60
4	ELECCION DE UBICACIÓN DE LA CENTRAL DE BIOMASA FORESTAL.....	64
4.1	INFLUENCIAS EXTERNAS AL CÁLCULO .....	69
4.1.1	Análisis de la gestión administrativa del residuo forestal.....	69
4.1.2	Análisis del Mapa de productividad potencial forestal de la España peninsular .....	71
5	CONCLUSIONES.....	75
6	BIBLIOGRAFÍA .....	76





ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN ÓPTIMA Y CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE  
PARA UNA CENTRAL DE BIOMASA FORESTAL RESIDUAL EN EL EJE PAMPLONA-JACA

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Prospectiva de potencia instalada y de producción de energía mediante plantas de biomasa en Aragón.....	12
Figura 2: Eje de estudio Pamplona-Jaca: Autovía A-21.....	12
Figura 3 : Evolución de los aprovechamientos madereros en la CFN 1998-2016 sin considerar la extracción de leñas.....	13
Figura 4: NDVI en el eje Pamplona-Jaca.....	14
Figura 5: Eje de estudio Pamplona-Jaca: Tipo de bosque.....	15
Figura 6: Eje de estudio Pamplona-Jaca: Altimetría (interpolación lineal) vs. MFE-IFN3.....	15
Figura 7: Zonas de riesgo de incendio forestal en la zona de estudio aragonesa.....	16
Figura 8: Plan de protección civil de emergencia por incendios forestales. Distribución de zonas de riesgo de incendio.....	16
Figura 9 : Ejemplo de capas temáticas aplicables en un entorno SIG.....	18
Figura 10: Esquema de la evaluación multicriterio en función de capas ráster. Fuente: Elaboración propia.....	19
Figura 11.A: Análisis de vial. Principales viales de la zona de estudio.....	20
Figura 12: Análisis vial. Zonificación de restricciones de infraestructuras viarias. A: Zonificación general. B: Detalle de la zona de infraestructuras viarias.....	21
Figura 13: Restricciones de áreas. Red Natura 2000.....	22
Figura 14: Distribución del uso del suelo. Nivel 1.....	24
Figura 15: Restricciones según el uso del suelo.....	24
Figura 16: Análisis hidrográfico. Detalle: Masas de agua superficiales de la cuenca del río Aragón. Delimitación del tramo 523. A: Cuenca del río Aragón. B: Código y descripción de las masas fluviales de la cuenca del río Aragón.....	27
Figura 17: Análisis hidrográfico. Detalle: Ríos y canales aptos según Qmm.....	27
Figura 18: Análisis hidrográfico.....	28
Figura 19: Análisis hidrográfico de la CHE. A: Plano general del análisis zonas inundables vs. zonas inundables a 500 años. B: Detalle de las zonas inundables vs. zonas inundables a 500 años.....	28
Figura 20: Análisis hidrográfico. A: Plano general de la restricción debido al recurso hidrológico. B: Detalle de la restricción debido al recurso hidrológico.....	29
Figura 21: Análisis sistemas de eléctricos accesibles. Detalle: Selección y ubicación de SET en capa vectorial. A: Ubicación de la subestación de la Venta en plano cartográfico. B: Ubicación en plano vectorial de la subestación de la Venta.....	29
Figura 22: Análisis de sistemas eléctricos accesibles. Área de influencia SET= 2500m.....	30
Figura 23: Análisis sistemas de eléctricos accesibles. Área de influencia 2500m y 4500m SET Berdún vs. restricciones de la Red hidrológica, CLC12 y Red Natura 2000.....	31
Figura 24: Análisis de sistemas eléctricos accesibles. Hipótesis 1 y 2.....	31
Figura 25: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual. Hipótesis 1. A: Plano general. B: Plano de detalle.....	32
Figura 26: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual. Hipótesis 2.....	33
Figura 27: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual + zonas óptimas de instalación. A: Lumbier. B: Liédena. C: Sangüesa. D: Berdún.....	33
Figura 28: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de Biomasa Forestal residual. Parcelas catastrales OFERTA+ Pendiente media >10%. A: Lumbier. B: Liédena. C: Sangüesa. D: Berdún.....	34
Figura 29: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual. Oferta total. A: Zona este del estudio (Lumbier, Liédena y Sangüesa). B: Zona oeste del estudio (Berdún).....	35
Figura 30: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual. Parcelas catastrales oferta Liédena. A: Zona apta A-21. B: Ejemplo de parcela muy pequeña.....	35
Figura 31: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual. Centroides vs. centroides comunes. A: Lumbier. B: Liédena. C: Sangüesa. D: Berdún.....	36
Figura 32: Costes de transporte de biomasa bruta o astillas/triturado en función del acceso y kilómetros a la central.....	37
Figura 33: Escenario1. Áreas de influencia a 35 km de las centrales.....	38
Figura 34: Escenario2. Áreas de influencia a 35 km de las centrales.....	38
Figura 35: Escenario 3. Áreas de influencia a 50 km de las centrales.....	39
Figura 36: Escenario 4. Áreas de influencia a 50 km de las centrales.....	39
Figura 37: Caracterización de una parcela del MFE50.....	41



Figura 38: Flujoograma de cálculo de la biomasa forestal residual final. ....	42
Figura 39: Pendientes ráster de la zona de análisis. ....	44
Figura 40: Pendientes medias (%) de las parcelas de la zona de análisis. ....	45
Figura 41: Análisis energético. Parcelas aptas de la zona de estudio. ....	46
Figura 42: Eje de estudio Pamplona-Jaca: Detalle altimétrico de la zona de estudio. Interpolación discreta vs. parcelas aptas Berdún 50 km. ....	47
Figura 43: Análisis del área de influencia. Ejemplo de la zona de influencia a 35 km de las centrales de Lumbier y Berdún. ....	48
Figura 44: Análisis del escenario 2. Ejemplo de la zona compartida entre Lumbier y Berdún. ....	49
Figura 45: Análisis del área de influencia. Ejemplo de la zona de influencia a 35 km de las centrales de Lumbier y Berdún y las parcelas aptas como resultado del análisis. ....	49
Figura 46: Análisis de la distancia a los viales. A: Detalle general de la zona de desembosque y parcelas fuera de la zona de desembosque. B: Detalle de las parcelas eliminadas debido a que no entran en el área de desembosque. ....	50
Figura 47: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. ....	51
Figura 48: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. ....	51
Figura 49: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. Escenario 1: Sangüesa norte. ....	52
Figura 50: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. ....	52
Figura 51: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. ....	54
Figura 52: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. ....	55
Figura 53: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. ....	55
Figura 54: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. ....	56
Figura 55: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km. ....	58
Figura 56: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km. ....	58
Figura 57: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km. ....	59
Figura 58: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km. ....	59
Figura 59: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km. ....	62
Figura 60: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km. ....	62
Figura 61: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km. ....	63
Figura 62: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km. ....	63
Figura 63. A: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual. ....	67
Figura 64. A: Planta de biomasa forestal de Garra. B: Área total de la planta. C: Área destinada al acopio de biomasa forestal. ....	67
Figura 65: Lumbier: Parcelas catastrales elegidas vs. Google Maps®. ....	68
Figura 66: Berdún: Parcelas catastrales elegidas vs. Google Maps®. ....	68
Figura 67: Régimen administrativo escenario 2: Lumbier-Berdún. ....	69
Figura 68: Mapa de productividad potencial forestal de la España peninsular. ....	71
Figura 69: Análisis energético de las parcelas aptas. Escenario 2: Lumbier-Berdún. Parcelas finales vs. MPPFE. ....	72
Figura 70: Análisis energético de las parcelas aptas. Escenario 2: MPPFE, Lumbier-Berdún. ....	73



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Generación eléctrica con biomasa en Navarra en 2017.....	11
Tabla 2: Distribución y capacidad de acogida de los usos del suelo según CLC12. ....	23
Tabla 3: Régimen de caudales de mantenimiento en las estaciones del río Aragón y de la cuenca del río Irati obtenido con el método del caudal básico y comparación con el 10% del Plan Hidrológico de la cuenca.25	25
Tabla 4: Análisis hidrológico del río Irati. Caudales medios anuales del periodo 2005-2015.....	26
Tabla 5: Análisis hidrológico del río Aragón. Caudales medios anuales desde el río Veral hasta su entrada en el pantano de Yesa. ....	26
Tabla 6: Campos principales del MFE50 utilizados en el estudio. ....	40
Tabla 7: Índice de residuos según tratamiento silvícola. Resumen. ....	43
Tabla 8: Pendiente del terreno vs. eficiencia de extracción de biomasa forestal. ....	44
Tabla 9: Escenario 1: Biomasa y energía total vs. accesible vs. residual. ....	53
Tabla 10: Escenario 1: Biomasa total vs. accesible vs. residual. ....	53
Tabla 11: Escenario 2: Energía residual (MJ/año) y área compartida. ....	57
Tabla 12: Escenario 3: Energía residual (MJ/año) y área compartida. ....	60
Tabla 13: Escenario 4: Biomasa y energía total vs. accesible vs. residual. ....	61
Tabla 14: Escenario 4: Biomasa total vs. accesible vs. residual. ....	61
Tabla 15: Tabla resumen de la solución definitiva. Escenario 2. ....	64
Tabla 16: Escenario 2: Lumbier-Berdún. Sin MPPFE vs. con MPPFE. ....	70
Tabla 17: Escenario 2: Lumbier-Berdún. Gestión forestal común vs. gestión forestal provincial. ....	70
Tabla 18: Productividad potencial forestal de España peninsular.....	72
Tabla 19: Escenario 2: Lumbier-Berdún. sin MPPFE vs. con MPPFE. ....	73
Tabla 20: Escenario 2: Lumbier-Berdún. CFN sin MPPFE vs. con MPPFE y Aragón sin MPPFE vs. con MPPFE. ....	74



## ABREVIATURAS

ACS	<i>Agua Caliente Sanitaria</i>
ADEMAN	<i>Asociación de Empresarios de la Madera de Navarra</i>
AEMA	<i>Agencia Europea para el Medio Ambiente</i>
AVEBIOM	<i>Asociación Española de valorización de biomasa.</i>
BA	<i>Biomasa potencial Accesible</i>
BR	<i>Biomasa potencial Residual disponible</i>
BT	<i>Biomasa Total</i>
CCA	<i>Coeficiente de Cortas Actuales</i>
CCAA	<i>Comunidades Autónomas</i>
CFN	<i>Comunidad Foral de Navarra</i>
CHE	<i>Confederación Hidrográfica del Ebro</i>
CLC12	<i>Corine Land Cover 2012</i>
CORINE	<i>Coordination of Information on the Environment</i>
Cr	<i>Coeficiente reductor de recogida</i>
EERR	<i>Energías Renovables</i>
EPSP	<i>European Petroleum Survey Group</i>
FCCa	<i>Fracción de Cavidad Cubierta</i>
FEADER	<i>Fondo Europeo Agrícola de Desarrollo Rural</i>
FEOGA	<i>Fondo Europeo de Orientación y Garantía Agrícola</i>
GEI	<i>Gases de Efecto Invernadero</i>
GNDVI	<i>Green Normalized Difference Vegetation Index</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GVI	<i>Green Vegetation Index</i>
IDAE	<i>Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía</i>
IFN3	<i>Tercer Inventario Forestal Nacional</i>
IFN4	<i>Cuarto Inventario Forestal Nacional</i>
IGN	<i>Instituto Geográfico Nacional</i>
IR	<i>Índice de Residuos</i>
MAPAMA	<i>Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Ministerio para la Transición Ecológica</i>
MDT	<i>Modelo Digital del Terreno</i>
MFE	<i>Mapa Forestal Español</i>
MPPFE	<i>Mapa de Productividad Potencial Forestal de España</i>
MWh	<i>Megavatio hora</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NGRDI	<i>Normalized Red-Green Difference Index</i>
PAC	<i>Política Agraria Común</i>



PCS	<i>Poder Calorífico Superior</i>
PEMAR	<i>Plan Estatal de Residuos</i>
PEN 2030	<i>Plan Energético de Navarra Horizonte 2030</i>
PER	<i>Plan de Energías renovables</i>
PLEAR	<i>Plan Energético de Aragón</i>
PRN	<i>Plan de Residuos de Navarra</i>
Qec	<i>Caudal ecológico</i>
Qmin	<i>Caudal mínimo</i>
Qmm	<i>Caudal medio mensual</i>
Qre	<i>Caudal de refrigeración</i>
RVI	<i>Ratio Vegetation Index</i>
SET	<i>Subestación Transformadora</i>
SIG	<i>Sistema de Información Geográfica</i>
TEP	<i>Tonelada Equivalente de Petróleo</i>
UE	<i>Unión Europea</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
VI	<i>Índice de Vegetación</i>
WGS	<i>World Geodetic System</i>
ZEC	<i>Zonas Especiales de Conservación</i>
ZEPA	<i>Zonas de Especial Protección para las Aves</i>
ZI	<i>Zona Inundable</i>



## 1 INTRODUCCIÓN

### 1.1 OBJETIVO

El *propósito principal* de este trabajo es el análisis para la ubicación óptima de una central de biomasa a base de residuos forestales entre Pamplona y Jaca que pueda generar energía eléctrica y que estaría conectada a la Red.

En primer lugar, se ha trabajado en los diferentes tipos de restricciones que afectan en la *elección del emplazamiento* de la central. Para hallar las zonas aptas para la instalación de centrales de biomasa forestal se han utilizado diferentes métodos de evaluación en función de criterios técnicos y ambientales.

Una vez obtenidos los emplazamientos para la instalación de la central, se ha realizado un *análisis del recurso disponible* en las distintas zonas aptas en función de 2 escenarios:

- *Escenario de eficiencia*: Se ha evaluado el recurso disponible desde la ubicación de la central de biomasa forestal en un radio de influencia considerado eficiente como se explica en el apartado correspondiente.
- *Escenario de máxima cobertura*: Se ha evaluado el recurso disponible desde la ubicación de la central de biomasa forestal primando la obtención del máximo recurso como se explica en el apartado correspondiente.

Finalmente, se ha elegido la ubicación óptima de la central en función de datos obtenidos en el análisis de emplazamiento y del análisis del recurso disponible.

Para la realización de dicho estudio se han utilizado diferentes Sistemas de Información Geográfica (SIG) de código libre y los programas Access y Excel del paquete office para análisis de los datos durante las diferentes etapas del proyecto.

La metodología de cálculo se ha incluido en el documento *Cálculos*.

### 1.2 JUSTIFICACION DE PROYECTO

#### 1.2.1 Evaluación de la actual situación energética estatal y regional

A nivel europeo, la eficiencia energética y las energías renovables (EERR) son los 2 pilares sobre los que se asienta la Directiva 20/20/20 que define el paquete de medidas aplicables sobre clima y energía hasta 2020. Esta directiva contiene legislación vinculante que garantiza los objetivos exigidos por la UE hasta 2020. La Comisión Europea centra sus objetivos respecto a los valores de 1990 en los siguientes puntos [1]:

1. Reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en un 20%.
2. Ahorrar el 20% del consumo de energía mediante una mayor eficiencia energética.
3. Generación de energía mediante energías renovables hasta el 20%

Tres factores son claves a la hora de evaluar la actual situación energética:

1. La necesidad de producir energía social y medioambientalmente responsable.
2. La necesidad de disminuir la dependencia de combustibles del extranjero.
3. El deseo de hacer que la producción local de energía mejore social y económicamente las comunidades.

En enero de 2018, el Parlamento Europeo reclamaba a los estados miembros de la Unión un claro compromiso hacia una política energética de cero emisiones basándose en los siguientes 4 puntos [2]:

“

1. *La UE debe incrementar la eficiencia energética el 35% en 2030*
2. *El 35% del consumo debe proceder de fuentes renovables*
3. *Prohibición del aceite de palma en los biocombustibles a partir de 2021*
4. *Apoyo al autoconsumo, que no debe ser penalizado* “



Englobado en punto 2, cabe destacar la mención realiza al uso de la Biomasa residual como fuente de energía, citando textualmente *“El Parlamento pide medidas específicas para evitar incentivos al uso no sostenible de la biomasa para producción de energía cuando haya alternativas industriales o materiales que aporten mayor valor añadido. Así, apuestan por el uso de desechos y residuos para producir energía”*

A nivel estatal, España es el tercer país europeo por recursos absolutos de biomasa forestal (sólo por detrás de Suecia y Finlandia) [3]. Cuenta con una superficie forestal del 57% sobre el total de la superficie nacional, y con un ritmo de crecimiento anual del 2,2% [4]. Sin embargo, la biomasa representa el 2,1 % sobre el total de la energía eléctrica en el mix de generación total en 2016 [5].

A nivel regional y dado que el estudio se va a realizar en 2 comunidades autónomas, hay que tener en cuenta los desarrollos en materia de EERR en ambas.

Dentro de las competencias de la administración navarra, se desarrolla el Plan Energético de Navarra Horizonte 2030 (PEN-2030) donde se han establecido las acciones encaminadas a fomentar estrategias de generación mediante residuos de biomasa forestal. El PEN-2030, dentro del capítulo dedicado a la generación y gestión energética de las EERR, tiene un apartado exclusivo para la biomasa donde resalta que se debe:

1. Ampliar y mejorar el aprovechamiento energético de la biomasa forestal.
2. Asegurar que la biomasa utilizada proceda de fuentes renovables. Por ejemplo, plantaciones de madera o bosques originarios gestionados de forma segura y sostenible.

En Navarra, los residuos forestales como combustible base para la generación de electricidad, solo se utilizan en la papelera Smurfit Kappa (Sangüesa), con los residuos internos. Aportando una potencia de 8,3 MW a la Red de distribución.

	Potencia (MW)	Producción (MWh)	Producción (TEP)
<b>Renovables</b>	<b>1.361,8</b>	<b>3.816.880</b>	<b>328.252</b>
Biomasa	38,5	279.228	24.014
- Generación (a partir de residuos de biomasa agrícola)	30,2	215.541	18.537
- Cogeneraciones (a partir de biomasa forestal)	8,3	63.687	5.477

Tabla 1: Generación eléctrica con biomasa en Navarra en 2017.  
Fuente: PEN 2030.

En Aragón, la diversificación energética es uno de sus pilares dentro de la política energética de la administración plasmado en el Plan Energético de Aragón (PLEAR) 2013-2020 [6].

Cabe destacar que, a la fecha de finalización de este proyecto (septiembre de 2018), está en marcha la planta de Ejea de los Caballeros (2 MW) que utiliza fundamentalmente troncos de pino procedente de la explotación forestal de los montes cercanos [7]. Además, la empresa de promoción de EERR Forestalia, tiene en diferentes fases de ejecución los proyectos de las centrales de Erla (50 MW), Zuera (50 MW) y la planta de Monzón (170 MW). En total suma 272 MW de potencia eléctrica que superaría las expectativas del Plan Energético de Aragón (PLEAR) 2013-2020 como se puede ver en el gráfico de la Figura 1.



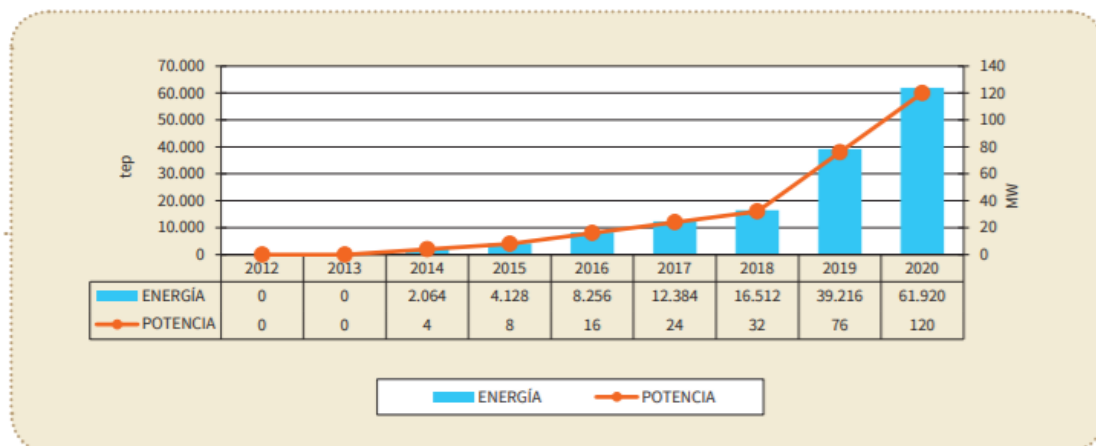


Figura 1 : Prospectiva de potencia instalada y de producción de energía mediante plantas de biomasa en Aragón.

Fuente: PLEAR 2013-2020.

### 1.2.2 Evaluación de infraestructuras

Las infraestructuras viales son clave debido a la necesidad de tener que transportar la biomasa forestal desde donde se generan a hasta la central.

La mayor infraestructura vial entre Pamplona y Jaca es la Autovía del Pirineo (A-21) que actualmente está en diferentes estados de ejecución (Figura 2). Otro de los puntos importantes a tener en cuenta es el estado de las pistas forestales por donde se accede a las parcelas con recurso forestal. Debido a la gran actividad hidroeléctrica, eólica, maderera y las actuaciones en la adecuación de pistas para el acceso en caso de incendio forestal, las pistas principales se encuentran en buen estado de conservación [8] [9] [10] [11].

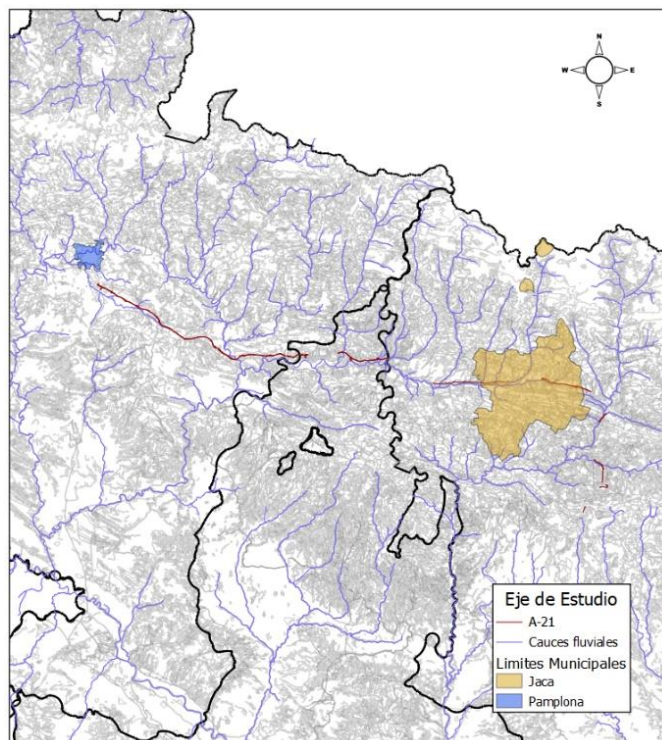


Figura 2: Eje de estudio Pamplona-Jaca: Autovía A-21.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN).

### 1.2.3 Justificación energética y medioambiental

El 64% la Comunidad Foral de Navarra (CFN) es territorio forestal, de los cuales 450.000 hectáreas están cubiertas por árboles, habiendo sumado un 24% de masa forestal desde el 3<sup>er</sup> Inventario Forestal Nacional (IFN3) al 4<sup>o</sup> Inventario Forestal Nacional (IFN4).

Por otro lado, en Aragón, el territorio forestal asciende a 2.608.312 hectáreas, lo que representa el 54,7% del total de la superficie de la Comunidad [12].

Sin contar la extracción para leñas, la evolución de los aprovechamientos madereros en Navarra sigue una tendencia ascendente en los últimos 10 años, como se puede ver en la Figura 3. Siendo en 2016 un total de 426.400 m<sup>3</sup> según el informe de Asociación de Empresarios de la Madera (ADEMAN) [13].

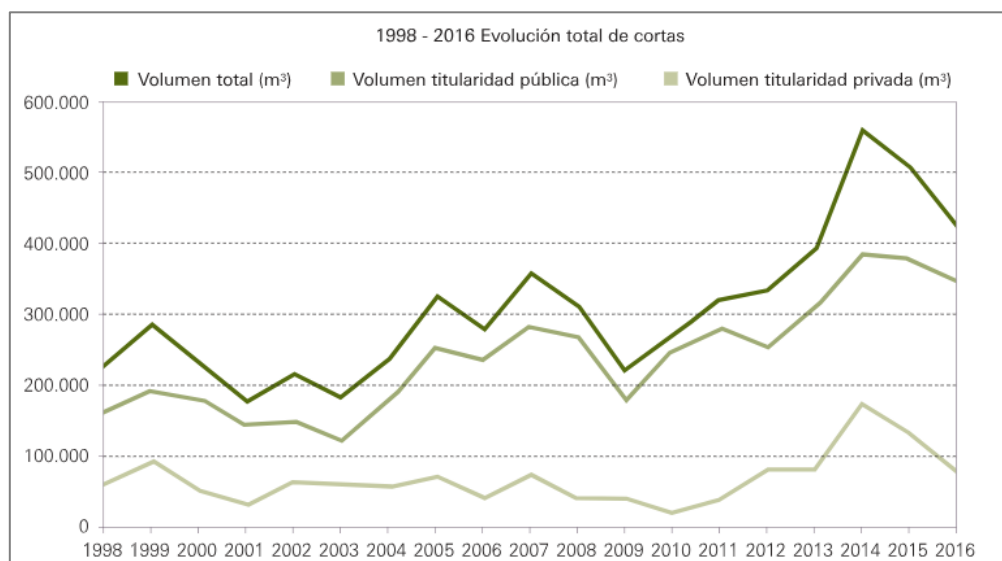


Figura 3 : Evolución de los aprovechamientos madereros en la CFN 1998-2016 sin considerar la extracción de leñas.  
Fuente: ADEMAN.

Desde el punto de vista del aprovechamiento energético forestal de Navarra, se aprovecha una cuarta parte del crecimiento corriente anual de la superficie forestal arbolada y viendo la evolución de las cortas anuales, el margen existente para la producción de biomasa forestal es muy amplio. Además, en nuestro caso solo se va a aprovechar el carácter residual de las cortas ya existentes, tomando ramas mayores de 20 cm como combustible.

#### 1.2.3.1. Evaluación del recurso forestal disponible

En primer lugar, se ha realizado un estudio de la cantidad de vegetación y otro estudio del tipo de vegetación disponible en el área de estudio. En base a ambos estudios, se va a determinar si la zona es adecuada para poder realizar un estudio en profundidad sobre el potencial forestal de la zona.

Se han utilizado para ello los índices de vegetación calculados a partir de fotografías satelitales [14] y el Mapa Forestal Español (MFE)<sup>1</sup> utilizando los datos del IFN3<sup>2</sup>. A fecha de la ejecución de este estudio (en septiembre de 2018) está disponible el IFN4 de la CFN, pero no se dispone del IFN4 de las provincias de Aragón. Se ha optado por utilizar el mismo inventario (IFN3) para todas las parcelas.

<sup>1</sup> El Mapa Forestal de España a escala 1:50.000 (MFE50) es la cartografía de la situación de las masas forestales, realizada desde el Banco de Datos de la Naturaleza, siguiendo un modelo conceptual de usos del suelo jerarquizados, desarrollados en las clases forestales, especialmente en las arboladas. Fuente: <https://www.mapama.gob.es>

<sup>2</sup> El Inventario Forestal Nacional podría definirse como un proyecto encaminado a obtener el máximo de información posible sobre la situación, régimen de propiedad y protección, naturaleza, estado legal, probable evolución y capacidad productora de todo tipo de bienes de los montes españoles. Fuente: <https://www.mapama.gob.es>

Los índices de vegetación son combinaciones de las bandas espectrales registradas por los satélites de Teledetección, cuya función es realzar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo, la iluminación, el agua, etc. Se trata de imágenes calculadas a partir de operaciones algebraicas entre distintas bandas espectrales.

Existen diferentes índices de vegetación (VI) como el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), el *Normalized Red-Green Difference Index* (NGRDI), el *Ratio Vegetation Index* (RVI) o el *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI). Entre todos ellos, el NDVI es el índice de vegetación más utilizado [15].

En este trabajo se calcula el NDVI entre Pamplona Jaca mediante bandas espectrales sacadas de Landsat 8<sup>3</sup> (11 bandas) de la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA). Se han utilizado para el cálculo imágenes satelitales obtenidas desde el servidor Libra<sup>4</sup> siguiendo los pasos descritos en el “*Apartado 1*” de Cálculos.

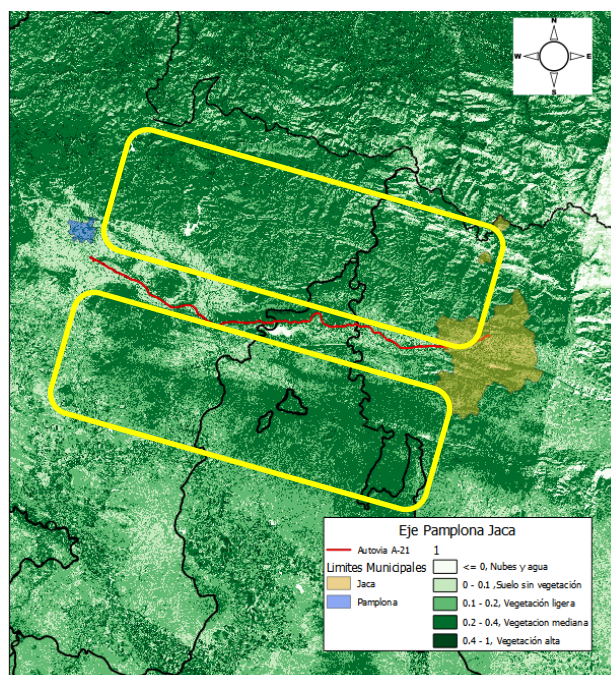


Figura 4: NDVI en el eje Pamplona-Jaca.

Fuente: Elaboración propia a partir de Fotografías desde el satélite Landsat 8 de la NASA.

Analizando los valores del NDVI, podemos afirmar que existe una masa de vegetación entre moderada y alta entre Pamplona y Jaca. Concretamente, esta vegetación está presente al norte y al sur del eje (Figura 4) que genera la A-21 entre ambas localidades.

Para corroborar que la vegetación existente es masa forestal, se ha utilizado el MFE que se pueden descargar de la página del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Ministerio para la Transición Ecológica (MAPAMA)<sup>5</sup> y analizar el tipo de distribución de masas arbóreas que existen alrededor de la Autovía del Pirineo (A-21).

En la Figura 5 se puede observar la distribución del área de estudio en función de la variable “TIPO DE BOSQU” del IFN3 que clasifica en tres la vegetación forestal (frondosas, coníferas y mixtas) y confirma que la vegetación obtenida en el NDVI de la Figura 4 es de origen arbóreo.

<sup>3</sup> El sensor TM (Thematic Mapper) del satélite LANDSAT captura información de siete bandas espectrales, tres en la región del visible (azul, verde y rojo) y cuatro en la región infrarroja. Las imágenes obtenidas por este sensor son el resultado de atribuir un color convencional a la información de cada una de las bandas utilizadas en cada caso, normalmente tres. Fuente: <https://cvc.cervantes.es>

<sup>4</sup> Development seed. Fuente: <https://libra.developmentseed.org/>

<sup>5</sup> MAPAMA. Fuente: [https://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50\\_descargas\\_ccaa.aspx](https://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/mfe50_descargas_ccaa.aspx)



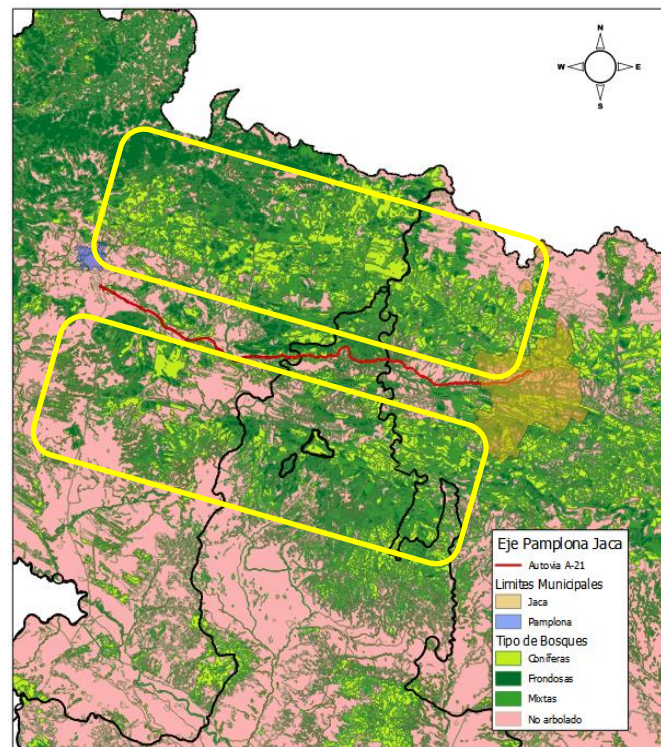


Figura 5: Eje de estudio Pamplona-Jaca: Tipo de bosque.  
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MAPAMA.

Una vez hecha la evaluación de la masa forestal de la zona, se puede afirmar que existen masas forestales entre los términos municipales de Pamplona y Jaca. Se ha realizado un mapa de altimetrías de la zona para ver la situación de las masas forestales como se explica en el “Apartado 2.1” de Cálculos.

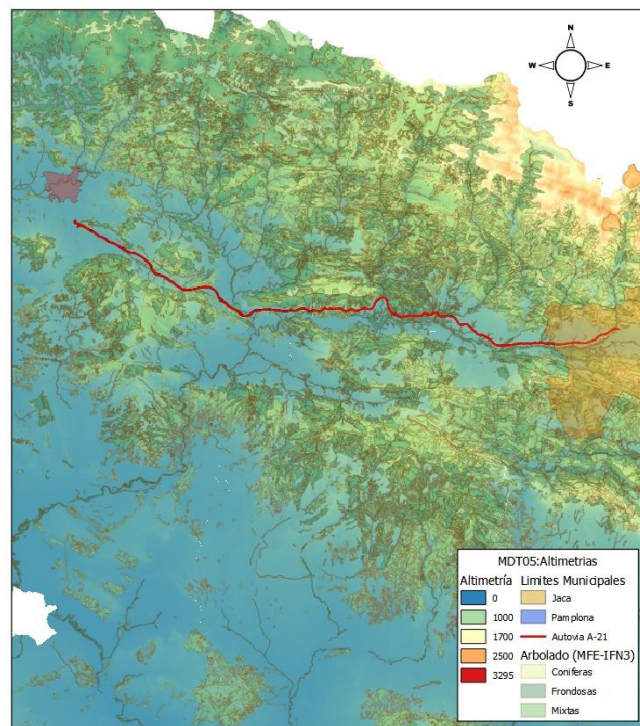


Figura 6: Eje de estudio Pamplona-Jaca: Altimetría (interpolación lineal) vs. MFE-IFN3.  
Fuente: Elaboración propia a partir de datos obtenidos del MAPAMA.

### 1.2.3.2. Evaluación del riesgo de incendios forestales

Otro de los puntos a tener en cuenta es que el aprovechamiento y limpieza de los montes supone un control preventivo ante los incendios forestales. Por ello, es importante la gestión de los residuos forestales, ya que estos, están clasificados como uno de los propagadores principales del fuego [16]. Como se puede observar en la Figura 7 y Figura 8, la zona de análisis está calificada de alto riesgo de incendio por las administraciones navarra y aragonesa.

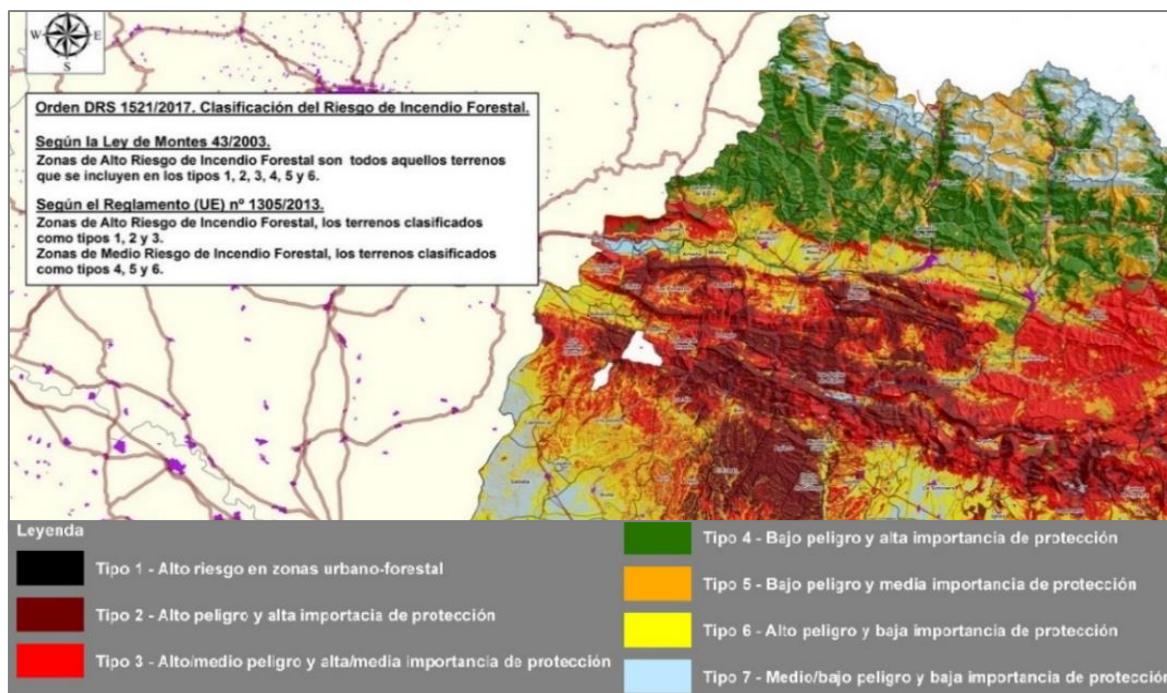


Figura 7: Zonas de riesgo de incendio forestal en la zona de estudio aragonesa.  
Fuente: Gobierno de Aragón. Dirección general de gestión forestal. Caza y pesca.

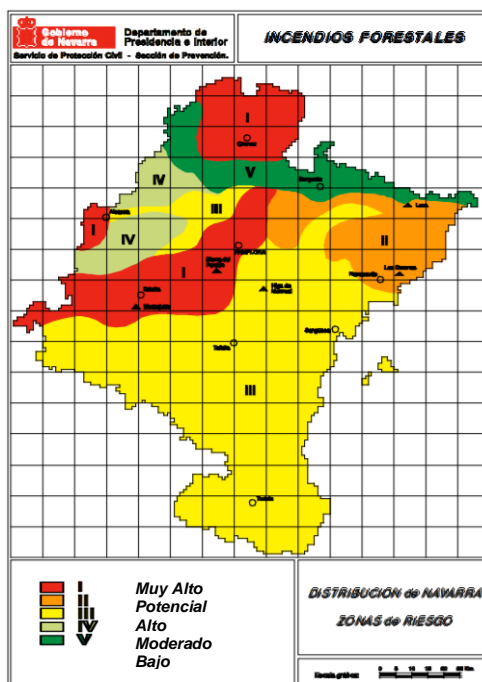


Figura 8: Plan de protección civil de emergencia por incendios forestales. Distribución de zonas de riesgo de incendio.

Fuente: Gobierno de Navarra. Departamento de presidencia e interior.



#### 1.2.4 Análisis de las evaluaciones administrativas, energéticas, infraestructurales y medioambientales

Una vez se ha realizada la evaluación previa, las siguientes razones justifican la ejecución del análisis:

1. La **existencia de vegetación arbórea energéticamente aprovechable** lo cual aumentaría la diversificación del suministro de energía y reduciría la dependencia energética del exterior.
2. La **voluntad administrativa** aparente a todos los niveles para la ejecución de aprovechamientos energéticos mediante biomasa forestal.
3. Las **infraestructuras viales** (carreteras principales y pistas forestales principales) están en un óptimo estado de conservación y no son un obstáculo en la obtención del recurso forestal.
4. La posible **utilización de la A-21 como eje principal de análisis** debido a la situación geográfica (en medio de las principales masas forestales).
5. La potencial **revalorización de los residuos forestales** mejorando la calidad de las masas forestales, minimizando la propagación de incendios forestales.
6. Las potenciales **mejoras medioambientales** como la reducción de emisión de gases de efecto invernadero frente al uso de combustibles convencionales.



## 2 ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE LA CENTRAL

La cantidad de biomasa potencial es el factor determinante a la hora de elegir un emplazamiento óptimo para la instalación, pero no es el único factor para determinar la viabilidad del proyecto y hay que considerar otros factores para poder ejecutar un análisis correcto [17] [18].

### 2.1 ENTORNO DE TRABAJO

Se han utilizado diferentes programas informáticos libres de entorno de tratamiento de información en entorno SIG.

El SIG es un conjunto de herramientas que integran y relacionan diversos componentes que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes de diferentes fuentes que están vinculados a una referencia espacial que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz y objetiva.

Un concepto clave de todo SIG, es el de superposición de capas temáticas (Figura 9), las cuales se clasifican en 2 grandes bloques:

- *SIG vectoriales*: Utilizan vectores para la descripción de los objetos geográficos.
- *SIG ráster*: Basan su funcionalidad en los formatos gráficos de mapas de bits. Su forma de proceder es dividir el espacio en una retícula o matriz regular de pequeñas celdas (a las que se denomina píxeles) y atribuir un valor numérico a cada celda como representación de su valor temático.

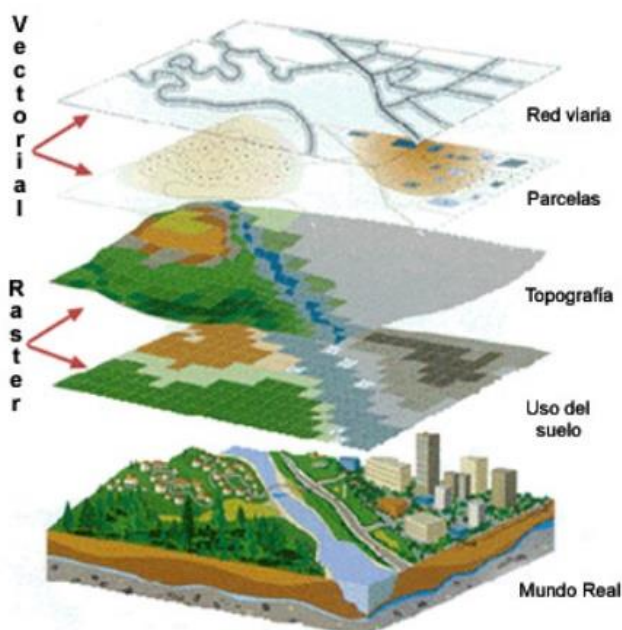


Figura 9 : Ejemplo de capas temáticas aplicables en un entorno SIG.

Fuente: [www.cnice.mec.es](http://www.cnice.mec.es).

Otro de los puntos importantes para trabajar en entornos de trabajo de sistemas SIG es establecer un mismo sistema de referencia de coordenadas con su huso correspondiente.

En este estudio se ha utilizado el sistema de referencia **EPSG: 32630 WGS 84 / UTM zone 30N** debido a su amplia utilización y porque es utilizado por el sistema Global Positioning System (GPS).

Para la realización de dicho estudio se ha utilizado los programas informáticos gratuitos en la mayor parte del análisis: **QGIS 3.0.2**, **QGIS 2.18.20** así como el **gvSIG 1.12.0**.

## 2.2 METODOLOGÍA DE RESTRICCIONES DE CAPAS RÁSTER

La metodología para la obtención de los lugares óptimos de aprovechamiento se basa en la implementación de diferentes criterios objetivos derivados de la asignación de valores booleanos a los diferentes píxeles de las capas en función de la categorización de los mismos.

Se ha utilizado una *evaluación multicriterio*, donde a partir de diferentes capas ráster o rasterizadas de datos se obtienen los diferentes factores restrictivos que afectan al aprovechamiento del recurso y que condicionan la ubicación del emplazamiento.

Las restricciones son los criterios técnicos, medioambientales o de la índole que limitan la posibilidad de considerar alguna opción, excluyéndola de forma definitiva.

A cada píxel de cada capa ráster o rasterizada (Capa vectorial convertida en capa ráster), se le ha ido asignado un valor booleano (1/0), siendo la zona apta designada como 1 y la no apta un 0 para la instalación de la central de Biomasa.

Se ha obtenido una capa final con las zonas aptas para la instalación de un central de biomasa procedentes de restos forestales que se denominan zonas de *OFERTA*.

En la Figura 10 se puede observar el desarrollo esquemático de la evaluación multicriterio mediante capas ráster.

Se han establecido restricciones de carácter (1) *hidrológico*, (2) *distancia a Red vial*, (3) *medioambiental* y (4) *cercanía de la Red eléctrica* [19]. También se ha tenido en cuenta 2 restricciones más, en concreto, la (5) *pendiente máxima media por parcela* y el estudio de las (6) *zonas inundables*.

En los siguientes subapartados se analiza de manera individualizada las diferentes restricciones que se han tenido en cuenta en este trabajo.

### 2.2.1 Análisis de Viales

En este apartado, en primer lugar, se analiza la distancia mínima para la instalación de la central al eje de estudio, la autovía A21. Para ello, se ha utilizado el programa gvSIG 1.12.0 con el complemento de análisis de redes (*Red->Crear red topológica*) como se explica en el “*Apartado 3.1*” de Cálculos. Obteniéndose una distancia máxima de 10 kilómetros respecto al eje de estudio (*Red->Área de servicio*) como se puede observar en la Figura 11.B (viales principales) y en la Figura 11.C (viales principales y secundarios).

En segundo lugar, según los estudios realizados por De la Paz [20], 200 metros es la distancia máxima respecto a la red viaria de acceso a la instalación a la que se puede instalar una central de biomasa forestal para minimizar el coste de la construcción, posterior gestión y mantenimiento. Una mayor distancia a la red viaria conlleva mayor coste de construcción de infraestructuras y posibles afecciones ambientales que repercuten en el coste inicial.

Además, se añaden las zonas industriales de las poblaciones de Lumbier y Sangüesa por estimar que el acceso es equivalente al de una vía principal como se puede ver en la Figura 11.D.

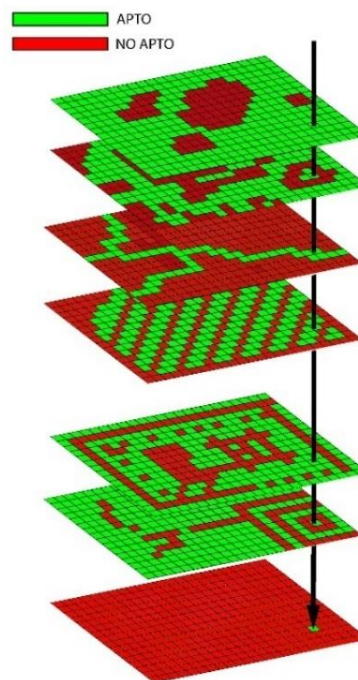


Figura 10: Esquema de la evaluación multicriterio en función de capas ráster.  
Fuente: Elaboración propia.



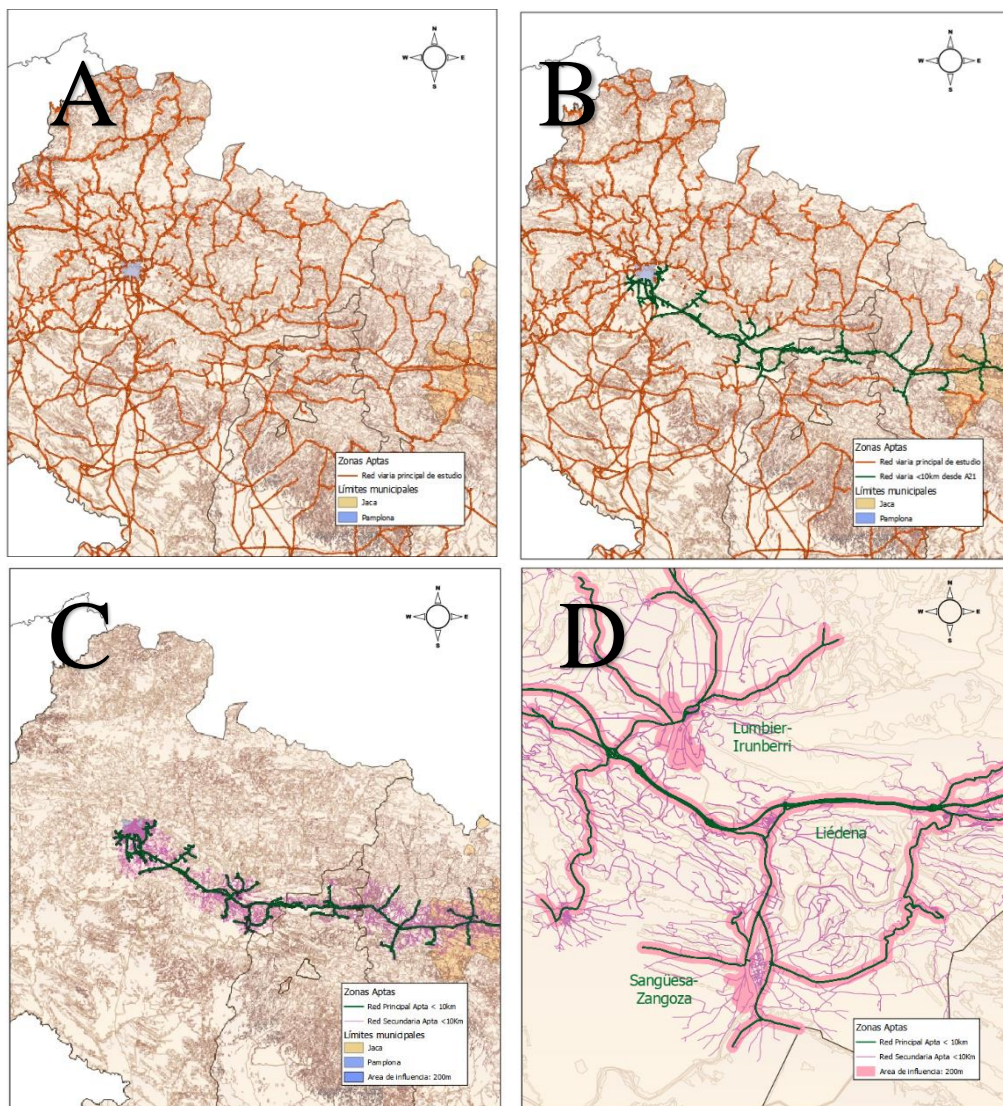


Figura 11.A: Análisis de vial. Principales viales de la zona de estudio.

B: Análisis Viales. Principales viales a una distancia <10km desde la A21.

C: Análisis Viales. Viales principales y secundarios a una distancia <10km desde la A21.

D: Análisis Viales. Zonas industriales incluidas dentro de los viales principales y área de influencia de 200 metros.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MAPAMA.

A continuación, se ha obtenido una capa vectorial junto con el contorno total de estudio y finalmente se rasteriza (*Ráster->Conversión->Rasterizar*) y se reclasifica (*calculadora ráster*) como se explica en el descritos en el “Apartado 3.3” de Cálculos, dando lugar al mapa de restricciones viales de la Figura 12. Donde:

- Zonas Rojas (0): Zonas no aptas para la instalación de la central
- Zonas Verde (1): Zonas aptas para la instalación de la central

La calculadora ráster, es una herramienta que permite realizar operaciones matemáticas sobre los valores de los píxeles existentes en un ráster, lo que es útil para la conversión y manipulación de dichos datos. Los resultados de dichas operaciones se muestran en una nueva capa ráster en un formato admitido por la librería *GDAL* [21].

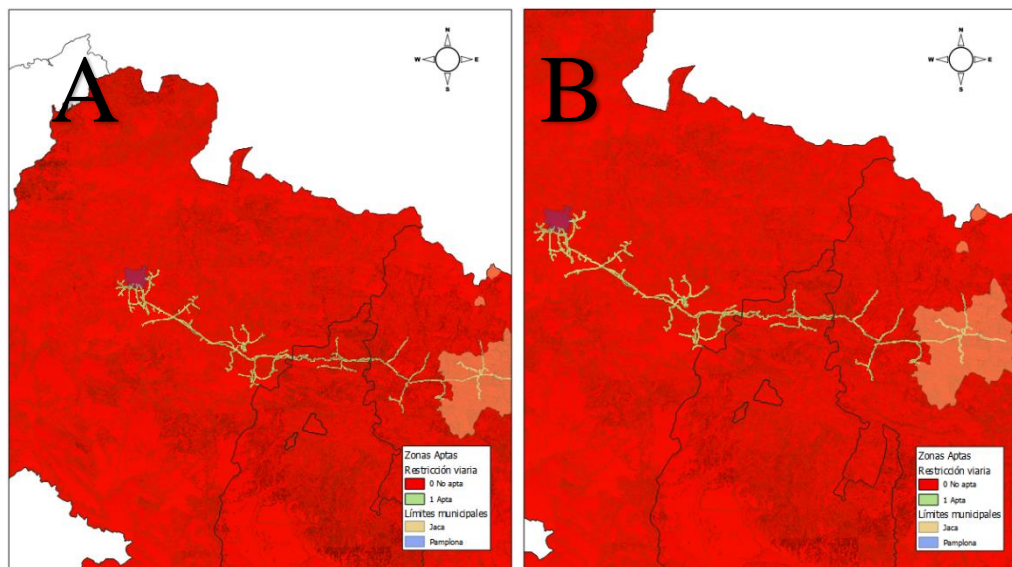


Figura 12: Análisis vial. Zonificación de restricciones de infraestructuras viarias. A: Zonificación general. B: Detalle de la zona de infraestructuras viarias.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MAPAMA.

### 2.2.2 Espacios Naturales: Red Natura 2000 y Parques Naturales

Natura 2000 es una red ecológica europea de áreas de conservación de la biodiversidad. Consta de Zonas Especiales de Conservación (ZEC) establecidas de acuerdo con la Directiva Hábitat y de Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) designadas en virtud de la Directiva Aves. Su finalidad es asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y los tipos de hábitat en Europa, contribuyendo a detener la pérdida de biodiversidad. Es el principal instrumento para la conservación de la naturaleza en la UE [22].

Para ello se han utilizado los datos disponibles de la última Actualización, a diciembre de 2017, según la información de los espacios Red Natura 2000 remitida por el MAPAMA a la Comisión Europea.

Se ha seguido la metodología que se explica en el “Apartado 4” de Cálculos, obteniendo la Figura 13 para la zona de análisis. Donde:

- Zonas Rojas (0): Zonas restringidas para la instalación de la central.
- Zonas Verde (1): Zonas aptas para la instalación de la central.

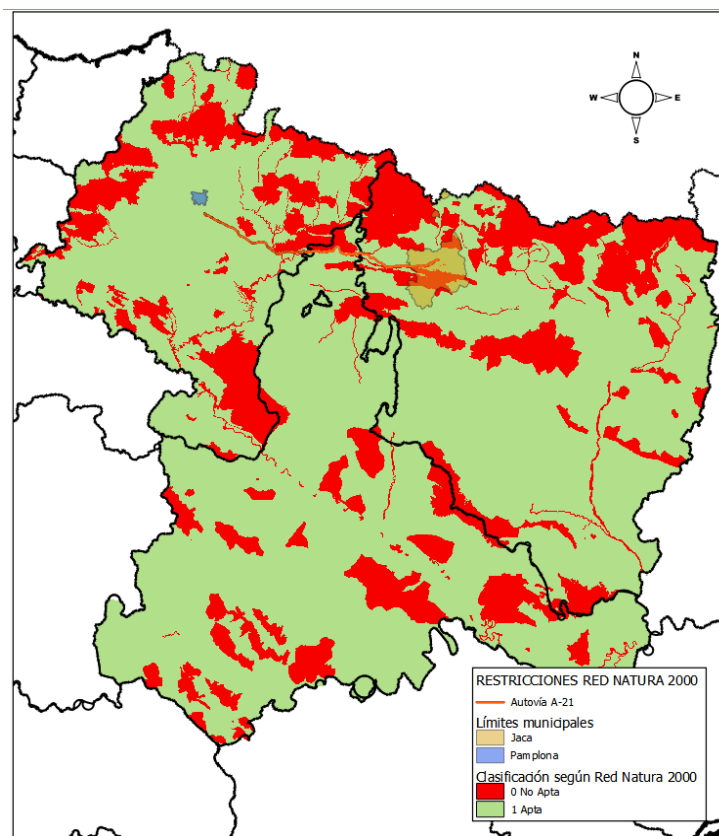


Figura 13: Restricciones de áreas. Red Natura 2000.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del MAPAMA.

### 2.2.3 Usos del terreno: Corine Land Cover

Otro de los factores clave en la selección de la localización de una instalación de carácter industrial como la del estudio, es el análisis de los diferentes usos de los terrenos de la zona. Para ello, se utilizan los datos obtenidos del proyecto *Coordination of Information on the Environment* (CORINE) Land Cover 2012 (CLC12) [23] dirigido por la *Agencia Europea para el Medio Ambiente* (AEMA) y que desarrolla la creación de una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio en la UE. Dentro de los tipos de usos del suelo se establecen los siguientes criterios de aptitud o restricción [24] [25] que se pueden ver a continuación en la Tabla 2 y que han sido obtenidos del IGN.



NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3	Capacidad de acogida
1 SUPERFICIES ARTIFICIALES	1.1 Tejido urbano	1.1.1 Tejido urbano continuo	0
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo	0
	1.2 Zonas industriales, comerciales y de transportes	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	1
		1.2.2. Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	0
		1.2.3. Zonas portuarias	0
		1.2.4. Aeropuertos	0
	1.3 Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción	1.3.1. Zonas de extracción minera	1
		1.3.2. Escombreras y vertederos	1
		1.3.3. Zonas en construcción	0
	1.4 Zonas verdes artificiales, no agrícolas	1.4.1. Zonas verdes urbanas	0
		1.4.2. Instalaciones deportivas y recreativas	0
2 ZONAS AGRÍCOLAS	2.1 Tierras de labor	2.1.1. Tierras de labor en seco	1
		2.1.2. Terrenos regados permanentemente	1
		2.1.3. Arrozales	1
	2.2 Cultivos permanentes	2.2.1. Viñedos	1
		2.2.2. Frutales	1
		2.2.3. Olivares	1
	2.3 Praderas	2.3.1. Praderas	1
	2.4 Zonas agrícolas heterogéneas	2.4.1. Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	1
		2.4.2. Mosaico de cultivos	1
		2.4.3. Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural	1
		2.4.4. Sistemas agroforestales	0
3 ZONAS FORESTALES CON VEGETACIÓN NATURAL Y ESPACIOS ABIERTOS	3.1 Bosques	3.1.1. Bosques de frondosas	0
		3.1.2. Bosques de coníferas	0
		3.1.3. Bosque mixto	0
	3.2 Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea	3.2.1. Pastizales naturales	0
		3.2.2. Landas y matorrales	0
		3.2.3. Vegetación esclerófila	0
		3.2.4. Matorral boscoso de transición	0
	3.3 Espacios abiertos con poca o sin vegetación	3.3.1 Playas, dunas y arenales	0
		3.3.2 Roquedo	0
		3.3.3 Espacios con vegetación escasa	0
		3.3.4 Zonas quemadas	0
4 ZONAS HÚMEDAS	4.1 Zonas húmedas continentales	4.1.1 Humedales y zonas pantanosas	0
		4.1.2 Turberas	0
	4.2 Zonas húmedas litorales	4.2.1 Marismas	0
		4.2.2 Salinas	0
		4.2.3 Zonas llanas intermareales	0
5 SUPERFICIES DE AGUA	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Cursos de agua	0
		5.1.2 Láminas de agua	0
	5.2 Aguas marinas	5.2.1. Lagunas costeras	0
		5.2.2 Estuarios	0
		5.2.3 Mares y océanos	0

Tabla 2: Distribución y capacidad de acogida de los usos del suelo según CLC12.

Fuente: Clasificación propia en base a datos IGN.



Una vez catalogadas las zonas y para simplificar la visibilidad de las zonas de estudio, se han categorizado según el Nivel 1 de la tabla y la zona de estudio queda clasificada como aparece en la Figura 14.

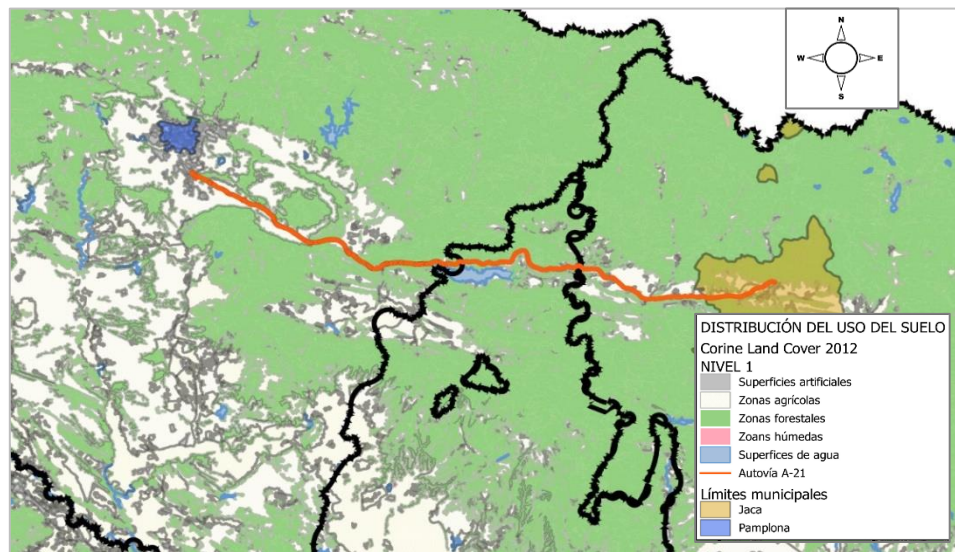


Figura 14: Distribución del uso del suelo. Nivel 1.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CLC12 y IGN.

Finalmente, se ha implementado la *capacidad de acogida* de la zona en QGIS en función de la Tabla 2. Para ello, se ha seguido la metodología que se explica en el “Apartado 5” de Cálculos obteniéndose la Figura 15. Donde:

- Zonas Rojas (0): Zonas restringidas para la instalación de la central
- Zonas Verde (1): Zonas aptas para la instalación de la central

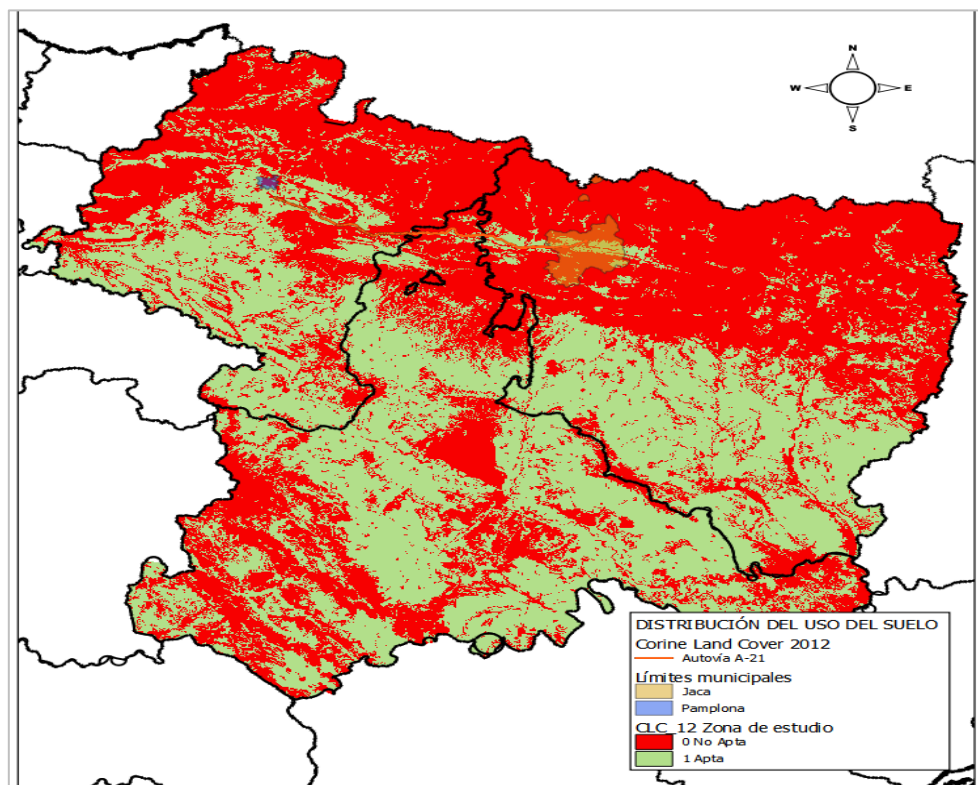


Figura 15: Restricciones según el uso del suelo.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de CLC12 y del IGN.



## 2.2.4 Recursos hidrológicos y análisis de zonas inundables

Otro de los puntos clave es el análisis del recurso hidrológico ya que se debe analizar tanto los recursos disponibles en la zona para la refrigeración de la central como las zonas susceptibles de inundación.

Un criterio a tener en cuenta es perturbar lo mínimo posible el ecosistema. Con este objetivo, se ha llevado a cabo un estudio hidrológico de la zona para establecer si es posible ubicar la central de biomasa forestal sin poner en riesgo régimen de caudales de los ríos de la zona. Para la consecución de dicho objetivo, se han analizado los diferentes caudales de la zona de estudio para garantizar el caudal ecológico. Se han usado zonas hidrológicas con alto caudal medio anual con el fin de asegurar la refrigeración de la central a la vez que se garantiza el caudal mínimo ecológico [26].

El régimen de un río viene determinado por un conjunto de parámetros entre los que destacan: el caudal anual, los caudales mensuales y su evolución, la irregularidad anual e interanual, las crecidas y estiajes, etc. Estos parámetros varían según el río y el tramo del mismo, siendo función de factores como el clima, el relieve, el tamaño de la cuenca, la cobertura vegetal presente o los usos del suelo.

En primer lugar, se han analizado los ríos más caudalosos de la zona de estudio (Aragón e Irati) y sus afluentes más caudalosos para determinar los lugares más adecuados según las estaciones de aforo que tiene la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

El régimen de caudales mínimos de un río que asegura un estado ecológico aceptable es una cuestión difícil de determinar sin un análisis riguroso de las disponibilidades reales del recurso. En Navarra, el Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Navarra llevó a cabo un estudio denominado “*Cálculo de regímenes de caudales ecológicos en puntos de la red fluvial de Navarra*” que determina los caudales ecológicos en todos los ríos navarros [27].

En los últimos años se han desarrollado nuevos métodos para la determinación de los caudales mínimos que en muchos casos proporcionan valores mayores que el 10% del caudal medio anual propuesto en el Plan Hidrológico de la Cuenca. Un método es el del *caudal básico* ( $Q_b$ ) [28] que proporciona un caudal medioambiental del orden del 10 al 25 % del caudal medio anual en régimen natural, debidamente modulado mensualmente como se indica en la Tabla 3.

		Aragón en Canfranc- Estación (164)	Aragón en Jaca (16)	Aragón en Yesa-CE (170)	Aragón en Yesa-PP (101)	Aragón en Caparroso (5)	Irati en Arive (66)	Irati en Liédena (65)	Erro en Urroz Villa (79)	Salazar en Izalzu (259)	Salazar en Aspizur (64)
Cuenca vertiente	(km <sup>2</sup> )	69,07	238	1471	2191	5769	236	1546	180	60,7	396
Caudal medio anual	(m <sup>3</sup> /s)	1,64	6,95	32,19	35,61	67,92	11,33	35,38	5,91	1,79	9,60
Caudal mínimo plan de cuenca (10%)	(m <sup>3</sup> /s)	0,38	0,91	3,24	4,52	4,46	1,03	3,80	0,45		0,92
Caudal medio de mantenimiento anual	(m <sup>3</sup> /s)	0,31	0,68	5,42	8,59	18,05	2,80	7,63	0,94	0,44	1,45
Porcentaje del caudal de mantenimiento respecto del medio anual		18,9	9,8	16,8	24,1	26,6	24,7	21,6	15,9	24,7	15,1
Caudal básico	(m <sup>3</sup> /s)	0,19	0,40	2,88	4,67	8,86	1,61	3,67	0,38	0,25	0,53
Caudales de mantenimiento mensuales	ene	0,29	0,65	5,75	9,27	23,49	3,51	10,67	1,40	0,55	2,04
	feb	0,30	0,66	5,99	9,85	24,58	3,58	10,49	1,34	0,57	2,14
	mar	0,32	0,68	5,94	11,58	25,06	3,36	9,94	1,20	0,53	1,93
	abr	0,39	0,82	6,86	10,88	24,25	3,78	10,44	1,22	0,60	2,02
	may	0,44	1,01	7,60	11,11	20,95	3,05	7,71	0,92	0,48	1,55
	jun	0,39	0,94	6,61	9,69	17,48	2,24	5,78	0,70	0,35	1,11
	jul	0,23	0,53	3,78	6,23	12,53	1,68	3,93	0,42	0,26	0,64
	ago	0,19	0,40	2,88	4,67	8,86	1,62	3,67	0,38	0,25	0,53
	sep	0,23	0,47	3,36	5,87	10,52	1,61	3,79	0,44	0,25	0,65
	oct	0,30	0,66	5,13	6,44	12,22	2,43	6,13	0,74	0,38	1,21
	nov	0,34	0,77	5,77	8,39	16,52	3,00	8,46	1,15	0,47	1,66
	dic	0,32	0,65	5,42	9,26	20,62	3,76	10,76	1,40	0,59	2,00

Tabla 3: Régimen de caudales de mantenimiento en las estaciones del río Aragón y de la cuenca del río Irati obtenido con el método del caudal básico y comparación con el 10% del Plan Hidrológico de la cuenca.

Fuente: Plan Hidrológico del Río Aragón. CHE, Gobierno de Navarra y Gobierno de Aragón.



En primer lugar, se han obtenido los datos del Caudal medio mensual (Qmm) de cada estación de aforo de la CHE. Para ello, se descarga la serie de las medias mensuales de la última década y se ha hecho una media de todos los datos obtenidos.

Después, se ha considerado la utilización hipotética como Caudal de refrigeración (Qre) de 0,75 m<sup>3</sup>/s agua en base a los cálculos realizados para esta central (5.3MW → Qre=0,035m<sup>3</sup>/s) y extrapolándolos a una central de 120MW. Este Qre, garantiza la refrigeración de una central de gran tamaño.

Para garantizar el caudal ecológico (Qec) de la Tabla 3 y el caudal de refrigeración, se necesita una caudal mínimo (Qmin) durante todos los meses del año que se obtiene de la siguiente ecuación:

$$Q_{min} = Q_{re} + Q_{ec} \quad (1)$$

Como se puede observar en la Tabla 4, es posible garantizar el Qmin ecológico del Río Irati, desde la estación de aforo de Aós hasta su unión con el río Aragón en Liédena durante todos los meses del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Qm Anual
Aos 9264. Qmm (m <sup>3</sup> /s)	18,76	31,61	36,76	26,43	17,58	18,06	21,26	24,10	20,55	11,25	10,27	13,10	21,04
Liédena 9065. Qmm (m <sup>3</sup> /s)	36,75	53,64	58,36	39,76	22,43	21,49	19,47	21,15	18,17	12,71	16,21	24,50	28,97
Qmin (m <sup>3</sup> /s)	11,42	11,24	10,69	11,19	8,46	6,53	4,68	4,42	4,54	6,88	9,21	11,51	8,33

Tabla 4: Análisis hidrológico del río Irati. Caudales medios anuales del periodo 2005-2015.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CHE.

En el río Aragón, es posible garantizar el Qmin entre las estaciones de aforo de 9232 ubicada en la localidad de Martes y el pantano de Yesa.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Qm Anual
Yesa C.E 9170. Qm (m <sup>3</sup> /s)	31,23	23,27	42,54	43,52	43,14	20,19	6,51	3,75	8,00	21,95	26,36	28,85	25,19
Martes 9282. Qm (m <sup>3</sup> /s)	21,82	19,26	25,59	32,94	30,48	23,54	7,68	3,96	5,67	16,82	19,25	19,18	18,86
Qmin (m <sup>3</sup> /s)	6,5	6,74	6,69	7,61	8,35	7,36	4,53	3,63	4,11	5,88	6,52	6,17	6,17

Tabla 5: Análisis hidrológico del río Aragón. Caudales medios anuales desde el río Veral hasta su entrada en el pantano de Yesa.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CHE.

Como solo se dispone del cálculo de Qec en Yesa (C.E 9170), se toma como tramo apto la unión desde el río Veral hasta su entrada en el pantano de Yesa a la altura de Asso-Veral (Figura 16). Este punto está en medio de ambas estaciones de aforo y no existe otra aportación de masa fluvial relevante al río Aragón entre ambos puntos.



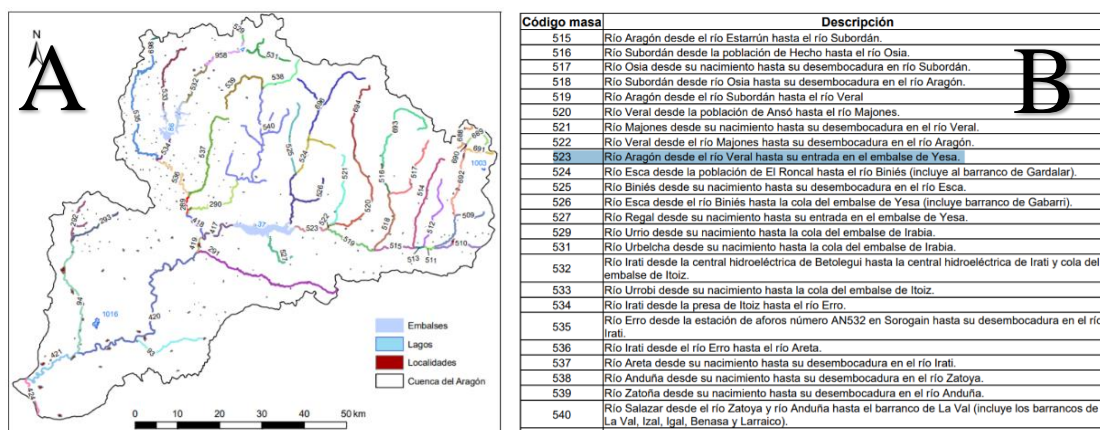


Figura 16: Análisis hidrográfico. Detalle: Masas de agua superficiales de la cuenca del río Aragón. Delimitación del tramo 523. A: Cuenca del río Aragón. B: Código y descripción de las masas fluviales de la cuenca del río Aragón.

Fuente: Plan Hidrológico del Río Aragón. CHE, Gobierno de Navarra y Gobierno de Aragón.

Una vez analizados los datos en el descritos en el “Apartado 6.1” de Cálculos, se establece que los ríos preferentes para refrigerar la central en función del Qmm son los ríos Irati desde el pantano de Itoiz, el río Aragón desde su unión con el río Veral hasta su desembocadura en el río Ebro y los canales de Navarra (capacidad de caudal de 45m³/s) y de las Bardenas (capacidad de caudal 60 m³/s) [29] [30].

Todas las masas fluviales aptas han sido unidas en una sola capa vectorial como se puede ver en la Figura 17, aplicándoles una zona de influencia respecto al eje central del río de 200 metros.

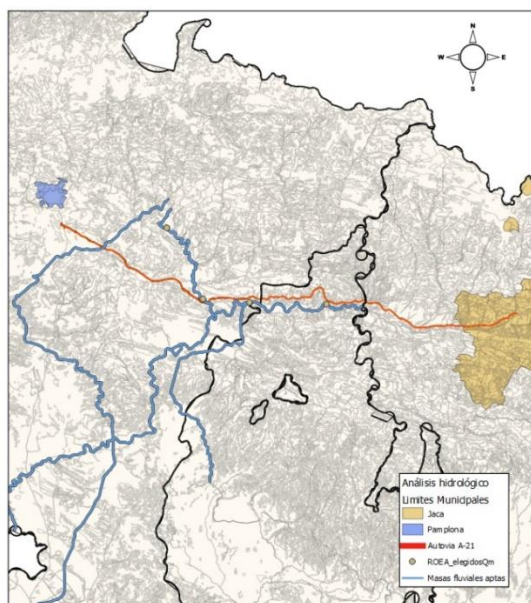


Figura 17: Análisis hidrográfico. Detalle: Ríos y canales aptos según Qmm.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CHE.

En segundo lugar, también se ha analizado la gestión de las zonas inundables. El servicio Zonas Inundables (ZI) se incluye dentro de la categoría de cartografía de zonas inundables de la CHE, cuya información cartográfica y alfanumérica se organiza de la siguiente manera:

- Z.I. con alta probabilidad (T=10 años)
- Z.I. de inundación frecuente (T=50 años)
- Z.I. con probabilidad media u ocasional (T=100 años)
- Z.I. con probabilidad baja o excepcional (T=500 años)



El análisis contiene las áreas definidas como ZI asociadas a periodos de retorno que ha sido definido como el inverso de la probabilidad de que en un año se presente una avenida superior a un valor dado en los estudios llevados a cabo (Figura 18) [31] [32]. Se descargan los archivos de las zonas inundables a 10 (T10), 50 (T50), 100 (T100) y 500 (T500) años de la página de la CHE <sup>6</sup>.

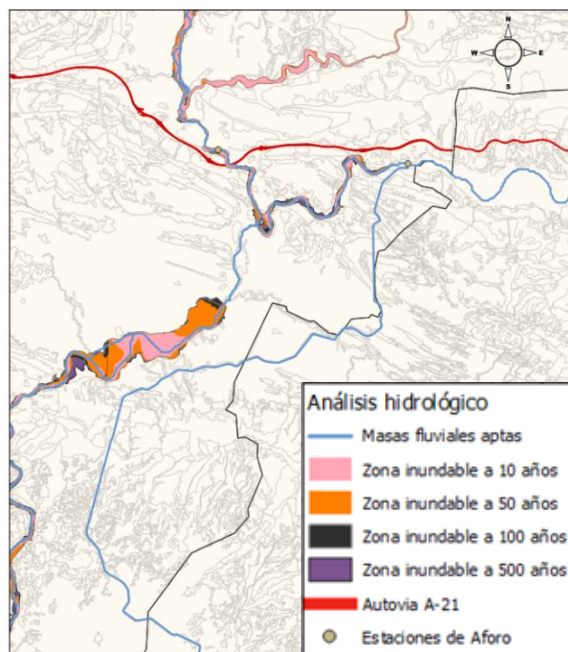


Figura 18: Análisis hidrográfico.

Detalle: Masas fluviales aptas vs. Zonas inundables a 10,50,100 y 500 años.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CHE.

En la elaboración de este estudio se ha tenido en cuenta el caso más desfavorable, tomando como zona no apta toda aquella que este dentro la evaluación de zona inundable a 500 años. En la siguiente composición de figuras se observa la restricción de masa fluvial junto con la evaluación de posible zona inundable a 500 años (Figura 19), así como como la unión de ambas restricciones en la Figura 20 que ha sido la que se tome en cuenta para el análisis final.

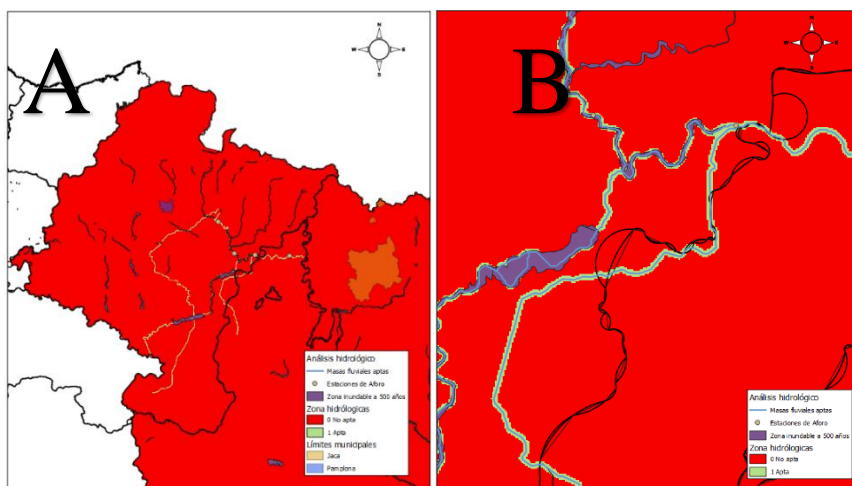


Figura 19: Análisis hidrográfico de la CHE. A: Plano general del análisis zonas inundables vs. zonas inundables a 500 años. B: Detalle de las zonas inundables vs. zonas inundables a 500 años.

Fuente: Elaboración propia con datos de la

<sup>6</sup> Confederación Hidrográfica. Fuente: <http://iber.chebro.es/geoportal/index.htm>

Finalmente, se han implementado las *zonas hidrológicas aptas y restringidas* de la zona en QGIS mediante la metodología que se explica en el “*Apartado 6.3*” de *Cálculos*. Obteniéndose la Figura 20. Donde:

- Zonas Rojas (0): Zonas restringidas para la instalación de la central
- Zonas Verde (1): Zonas aptas para la instalación de la central

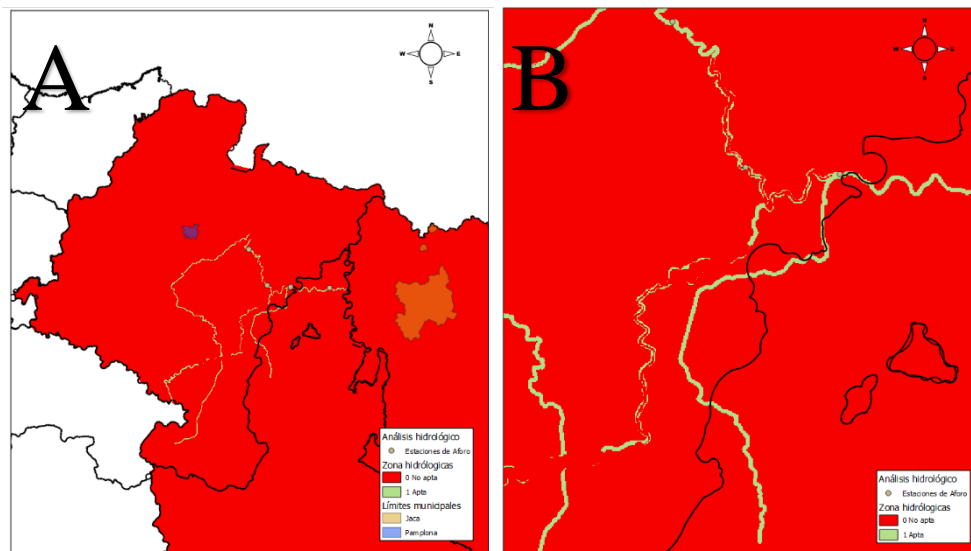


Figura 20: Análisis hidrográfico. A: Plano general de la restricción debido al recurso hidrológico. B: Detalle de la restricción debido al recurso hidrológico.

Fuente: Elaboración propia con datos de la CHE.

## 2.2.5 Red eléctrica

Para la localización de la central de biomasa, se establece una distancia máxima de 2500 metros desde la central a la subestación eléctrica (SET) con el objetivo de minimizar el coste de inversión. Una ubicación alejada supondría un gasto de inversión elevado y según la magnitud del proyecto, podría conllevar que sea económicamente inviable y que acarree también problemas asociados de impacto ambiental o social.

Se han mapeado las subestaciones de la zona de estudio y se han seguido las pautas de análisis como se explica en el “*Apartado 7*” de *Cálculos*. En la composición de la Figura 21, se observa la ubicación exacta de la SET de La Venta y como se ha colocado según catastro esta SET mediante una *capa vectorial de puntos*.

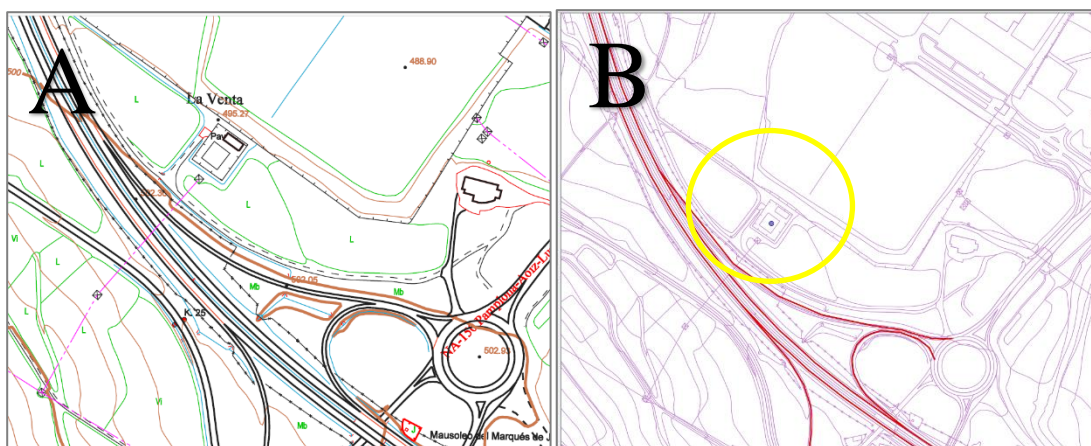


Figura 21: Análisis sistemas de eléctricos accesibles. Detalle: Selección y ubicación de SET en capa vectorial. A: Ubicación de la subestación de la Venta en plano cartográfico. B: Ubicación en plano vectorial de la subestación de la Venta.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la CFN.

Una vez obtenida la ubicación de todas las SET, se ejecutan las áreas de influencia con la herramienta *buffer* (*Vectorial* → *Herramientas de geoproceso* → *Buffer*) de QGIS.

Se propone un radio de 2.500 m de influencia respecto a cada SET. Analizando la intersección de las restricciones previas, se observa que la zona este del análisis se quedaría sin una zona óptima para la instalación de la central (Figura 22). Se genera una excepción en el área de influencia en la subestación de Berdún, ampliándola hasta los 4500 metros para poder realizar el análisis del recurso disponible en la zona este.

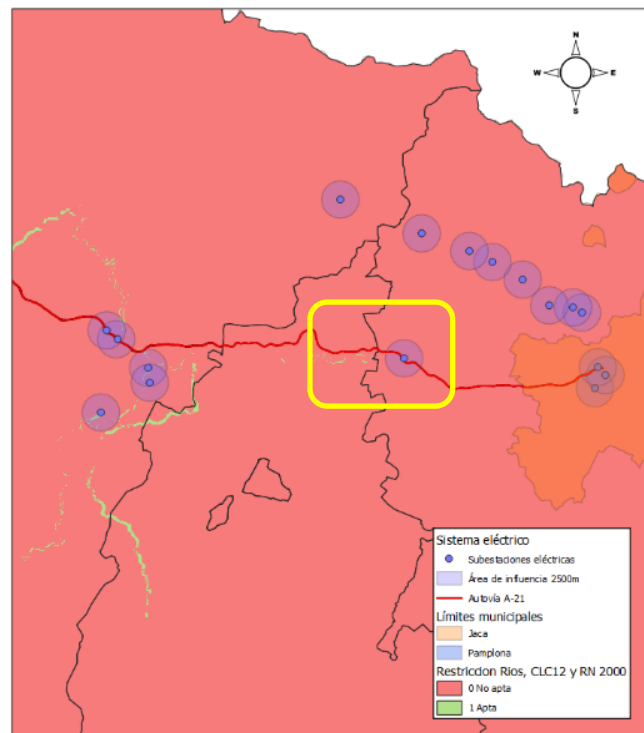


Figura 22: Análisis de sistemas eléctricos accesibles. Área de influencia SET= 2500m.  
Fuente: Elaboración propia con datos de ENDESA, Catastros de Navarra y Aragón.

Debido a esta excepción, se ha trabajado sobre 2 hipótesis:

- Hipótesis 1: Todas las SET con un área de influencia de 2500m
- Hipótesis 2: Todas las SET con área de influencia de 2500m y la SET de Berdún con buffer de 4500m

Las áreas de influencia (*buffer*) generadas en ambas hipótesis, se han unificado en un solo archivo *vectorial* (*Vectorial* → *Herramienta de gestión de datos* → *Unir capa de Vectores*). En la Figura 23 se observan las 2 restricciones utilizadas en el análisis y como quedan respecto a las anteriores restricciones ya analizadas.

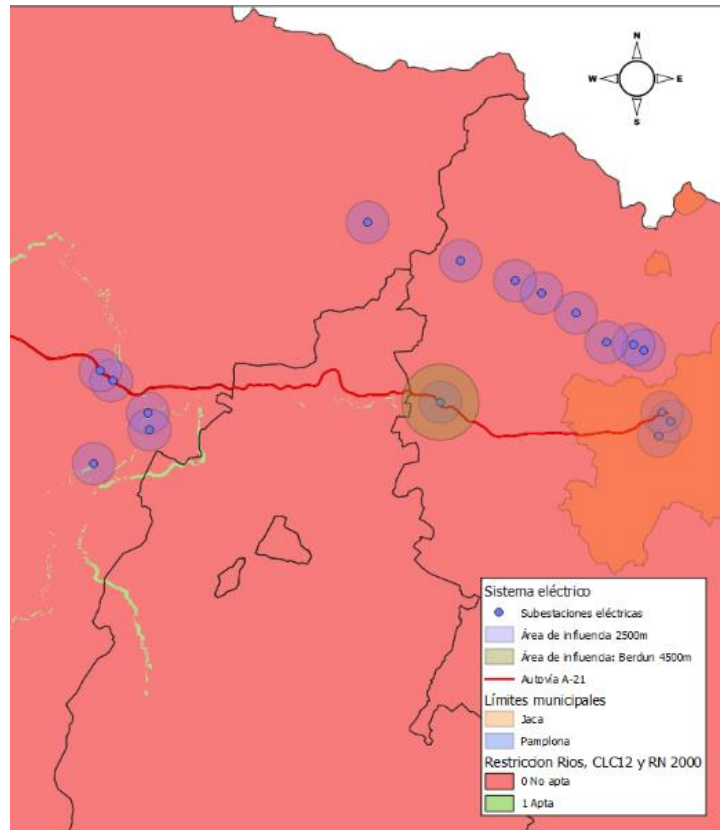


Figura 23: Análisis de sistemas eléctricos accesibles. Área de influencia 2500m y 4500m SET Berdún vs. restricciones de la Red hidrológica, CLC12 y Red Natura 2000.

Fuente: Elaboración propia con datos de ENDESA, Catastros de Navarra y Aragón.

Finalmente, se ha obtenido una capa de restricciones para cada hipótesis. Estas capas vectoriales han sido rasterizadas (*Ráster* → *Conversión* → *Rasterizar*) y reclasificadas (*Ráster* → *Calculadora ráster*) obteniendo las capas de la Figura 24. Donde:

- Zonas Rojas (0): Zonas restringidas para la instalación de la central
- Zonas Verde (1): Zonas aptas para la instalación de la central

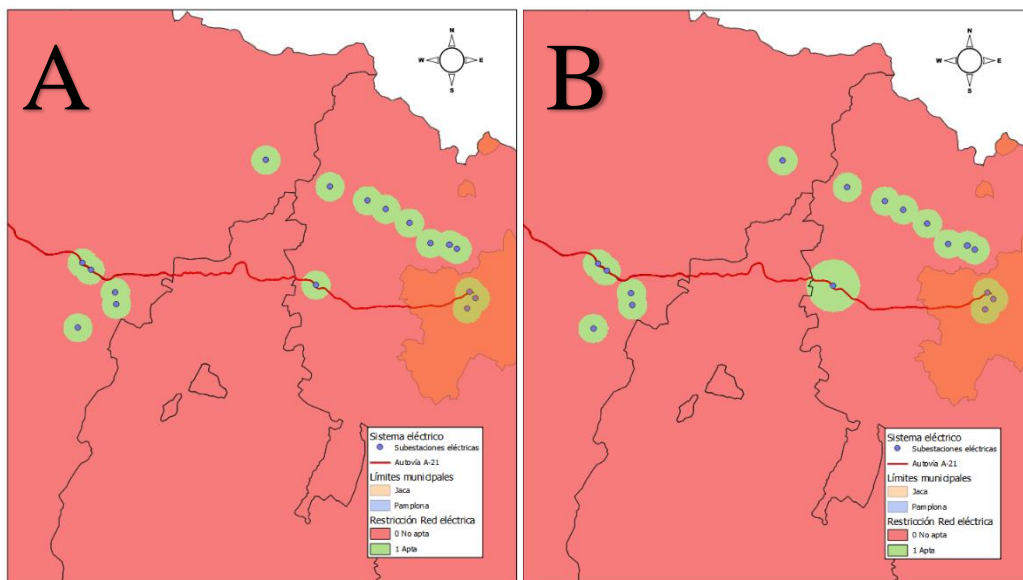


Figura 24: Análisis de sistemas eléctricos accesibles. Hipótesis 1 y 2.

Fuente: Elaboración propia con datos de ENDESA, Catastros de Navarra y Aragón.



### 2.2.6 Intersección del conjunto de restricciones ráster

Como se ha explicado anteriormente, las restricciones generadas se han multiplicado entre sí (*Ráster* → *Calculadora ráster*), obteniendo como resultado un mapa con áreas aptas o restringidas. En realidad, se tienen 2 mapas de restricciones debido a la excepción que se ha tenido en cuenta en la SET de Berdún:

- Mapa de restricciones 1: Lumbier, Liédena, Sangüesa Norte y Sangüesa Sur. Figura 25
- Mapa de restricciones 2: Lumbier, Liédena, Sangüesa Norte, Sangüesa Sur y Berdún. Figura 26

Se ha obtenido una zona muy reducida de aptitud en la zona este del análisis correspondiente a Aragón y una zona con mayor distribución de *oferta* en la zona oeste entre los términos municipales de Lumbier y Sangüesa para las hipótesis 2. Para la hipótesis 1, sólo existen zonas óptimas para la ubicación de la instalación en la zona oeste del análisis.

El resultado final del análisis de capas ráster con valores booleanos es un ráster compuesto de celdas que representan las zonas potenciales donde instalar las centrales de biomasa.

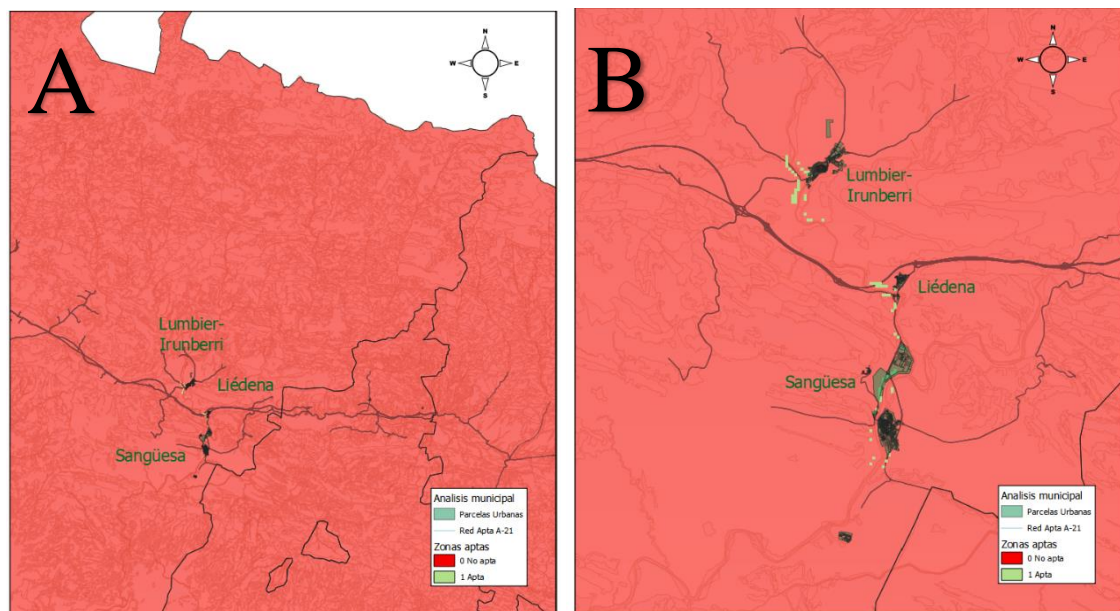


Figura 25: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual.  
Hipótesis 1. A: Plano general. B: Plano de detalle.

Fuente: Elaboración propia con datos del MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón.

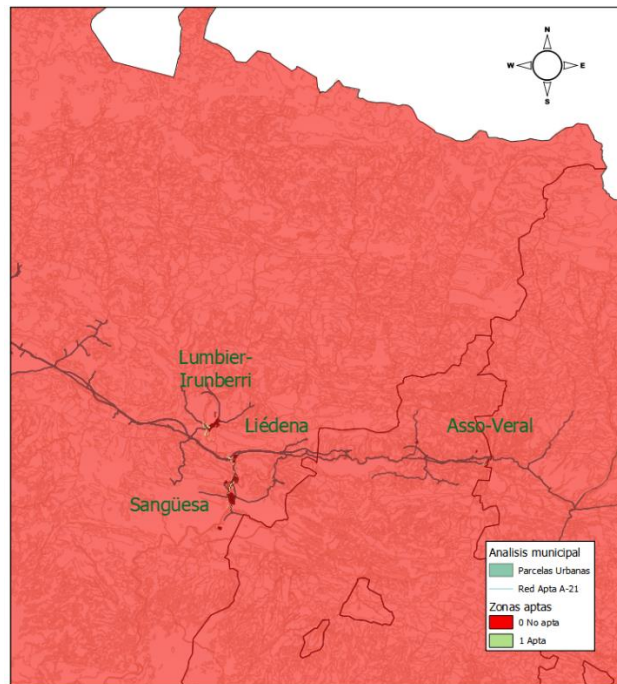


Figura 26: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual.  
Hipótesis 2.

Fuente: Elaboración propia con datos del MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón.

A continuación, en la Figura 27, se pueden ver las 5 zonas aptas en detalle.

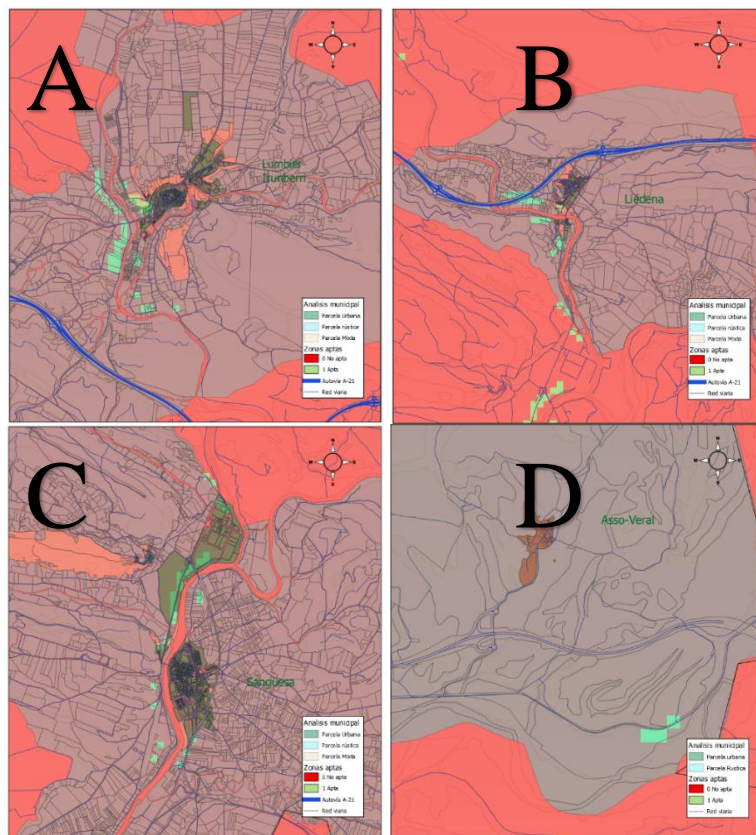


Figura 27: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual + zonas óptimas de instalación. A: Lumbier. B: Liédena. C: Sangüesa. D: Berdún.

Fuente: Elaboración propia con datos del MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón.



## 2.3 METODOLOGÍA DE RESTRICCIONES DE CAPAS VECTORIALES

### 2.3.1 Pendiente máxima de la parcela

En este apartado se ha calculado la pendiente media por parcela mediante el análisis expuesto en el “Apartado 2.2.1” de Cálculos. Se ha utilizado esta restricción para discriminar aquellas que tengan una pendiente mayor al 10%, con el fin de minimizar la ejecución de taludes durante las obras de ejecución de la central.

Una vez se han obtenido los valores medios de pendiente de todas las parcelas (*Caja de Herramienta de Procesos*→ *Selección por atributo*→ *PENDIENTE>10%*), se eliminan las parcelas no aptas (Figura 28).

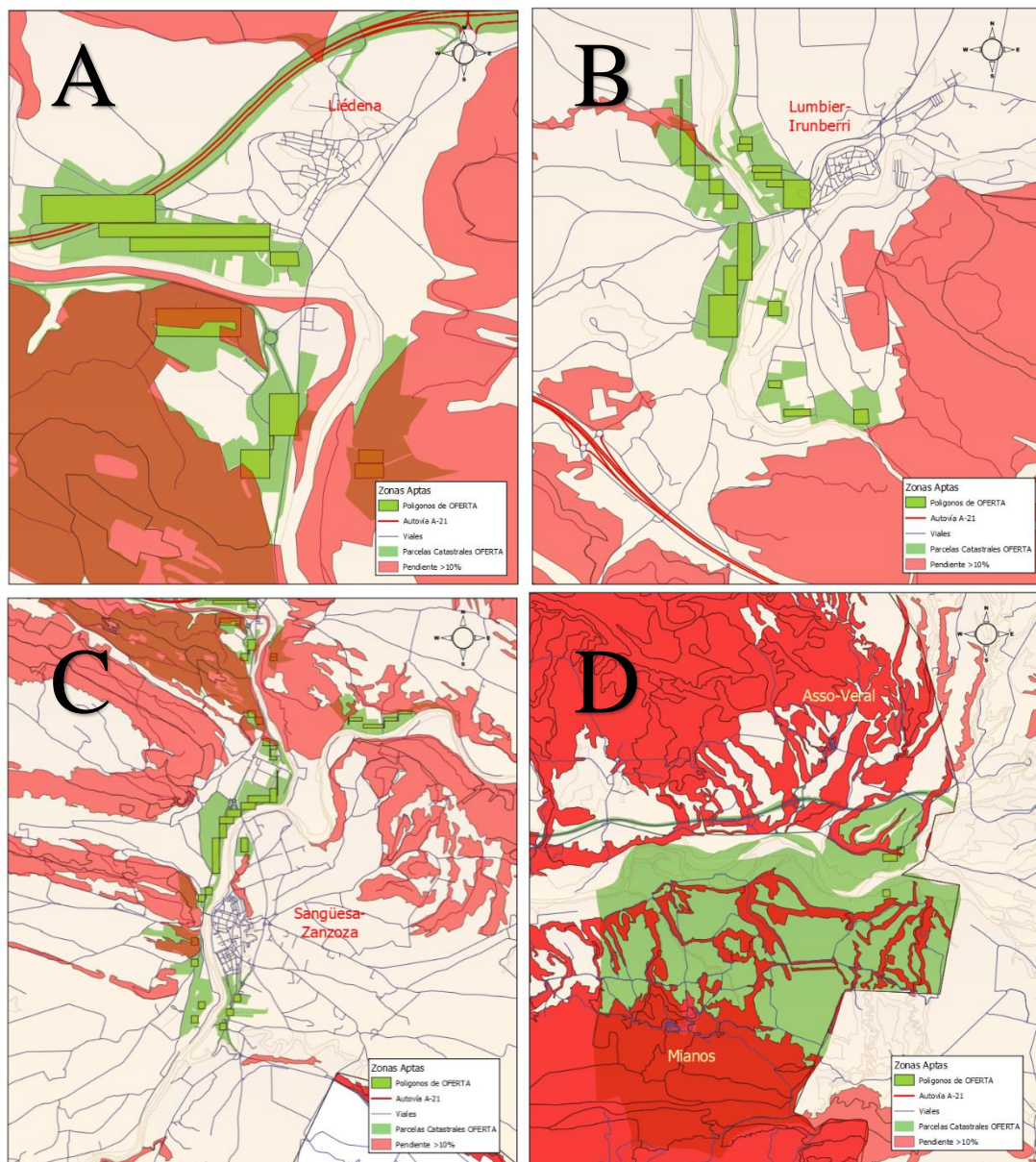


Figura 28: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de Biomasa Forestal residual. Parcelas catastrales OFERTA+ Pendiente media >10%. A: Lumbier. B: Liédena. C: Sangüesa. D: Berdún.

Fuente: Elaboración propia con datos del MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón

## 2.4 RESULTADO DE LOS EMPLAZAMIENTOS PARA LAS INSTALACIONES DE BIOMASA FORESTAL

El ráster obtenido con las zonas aptas, se ha transformado en una capa vectorial de polígonos que genera una red denominada: “*Parcelas de oferta de instalaciones biomasa*”.

Cuando se obtienen las zonas más aptas para la instalación, se realiza un análisis más exhaustivo en cada zona con el fin de buscar las parcelas óptimas. Para ello, se poligonalizan (*Ráster*→ *Conversión*→ *Poligonalizar*) las zonas aptas como se puede ver en la Figura 29.

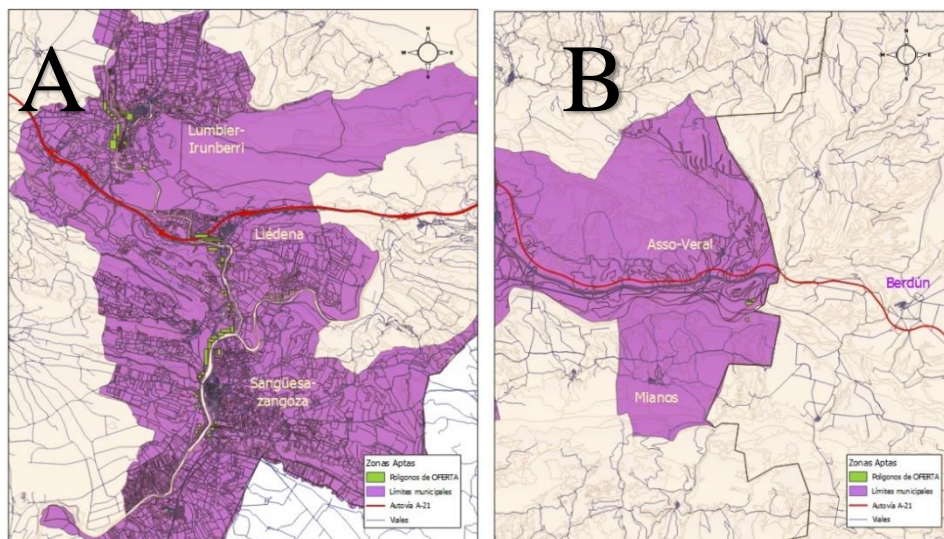


Figura 29: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual. Oferta total. A: Zona este del estudio (Lumbier, Liédena y Sangüesa). B: Zona oeste del estudio (Berdún). Fuente: Elaboración propia con datos del MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón.

Las parcelas poligonalizadas se introducen en una capa vectorial que se superpone a la capa del catastro (ejemplo de Liédena en la Figura 30.A). Para poder filtrar las parcelas catastrales aptas para la instalación de la central, se realiza una intersección entre ambas capas (*Caja de herramienta de procesos*→ *Selección por localización*→ *Intersección*). Además, se eliminan las parcelas catastrales que abarcan carreteras (autopista A21), parcelas que ya están siendo utilizadas por otras empresas como la papelera de Smurfit Kappa en Sangüesa y parcelas muy pequeñas (ejemplo en la Figura 30.B).

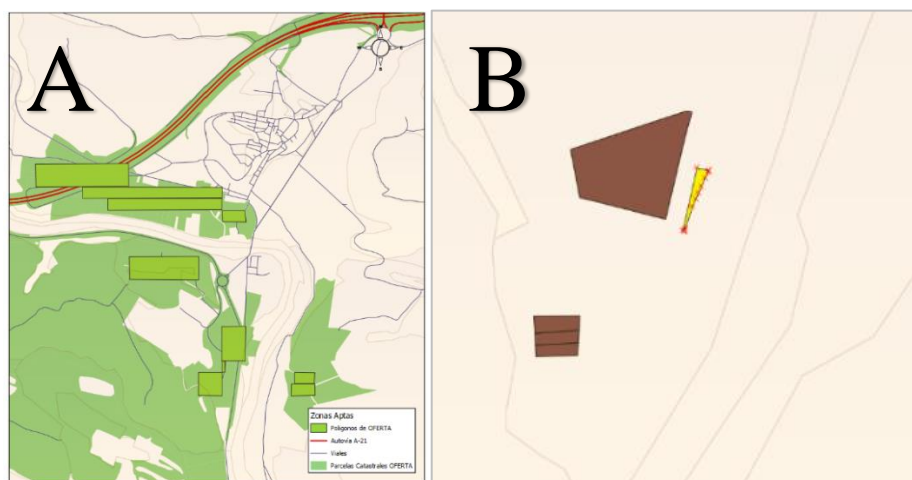


Figura 30: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual. Parcelas catastrales oferta Liédena. A: Zona apta A-21. B: Ejemplo de parcela muy pequeña. Fuente: Elaboración propia con datos del MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón.



Una vez obtenidas las parcelas finales donde poder instalar la central, se ha generado un *centroide común* como se explica en el “Apartado 8” de Cálculos (Figura 31). Estos centroides se han utilizado como hipotético lugar de instalación en cada municipio.

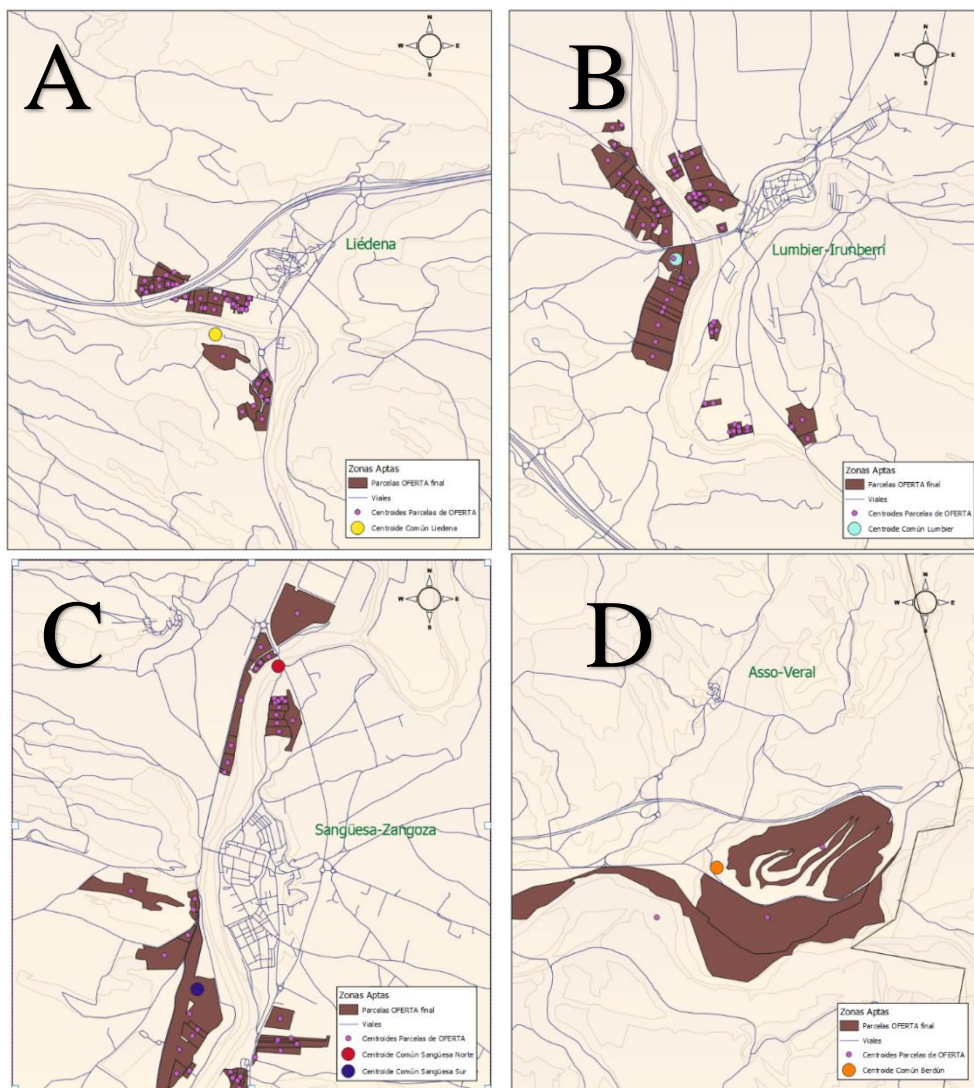


Figura 31: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual. Centroides vs. centroides comunes. A: Lumbier. B: Liédena. C: Sangüesa. D: Berdún. Fuente: Elaboración propia con datos del MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón.

### 3 ANÁLISIS DEL RECURSO DISPONIBLE PARA LA INSTALCIÓN DE UNA CENTRAL

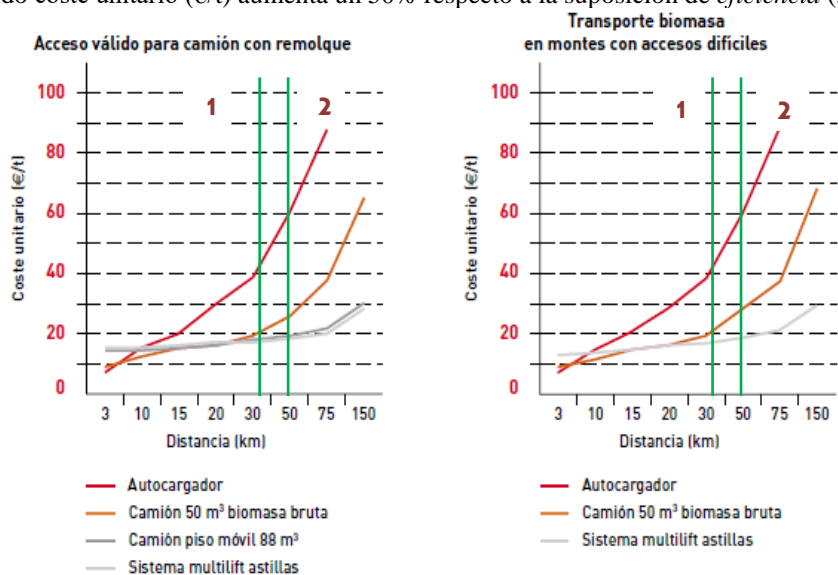
El paso previo antes de dimensionar una instalación de aprovechamiento energético, es la cuantificación del recurso disponible. Es este estudio, el recurso utilizado son los **residuos forestales** generados en las operaciones silvícolas de limpieza, poda y cortas parciales o finales de los montes, que van a ser utilizados como combustible para aplicaciones eléctricas y/o térmicas.

Una vez obtenidas las ubicaciones óptimas para la instalación de las centrales, se analiza la energía máxima extraíble en función de las diferentes restricciones en la extracción. Para el análisis ha utilizado en gran medida la metodología expuesta en el *Estudio Técnico PER 2011-2020 "Evaluación del potencial de energía de la Biomasa"* Cap. 3.1.1.2.3 *Cálculo de biomasa forestal*, p26. del IDAE.

#### 3.1 HIPÓTESIS PREVIAS AL ANÁLISIS

Uno de los mayores costes (20-25%) asociados a la extracción de biomasa forestal, es el coste asociado al transporte hasta su lugar de procesamiento [33]. Se han generado dos suposiciones en función de las gráficas de la Figura 32, que relacionan el precio por tonelada recogida (€/t) en función de los kilómetros hasta la central y del transporte utilizado.

1. *Eficiencia*: El área de influencia son 35 km respecto a la central de biomasa forestal ya que es el límite donde los precios empiezan a dispararse para 3 de las 4 tecnologías de medio de transporte.
2. *Máxima cobertura*: El área de influencia son 50 km respecto a la central de biomasa forestal debido coste unitario (€/t) aumenta un 50% respecto a la suposición de *eficiencia* (35 km).



Costes de transporte en montes de acceso apto para camiones con remolque

Costes de astillado y transporte, montes de acceso difícil

Medios de transporte empleados	Montes de acceso complicado		Montes de fácil acceso	
	Biomasa bruta	Astilla	Biomasa bruta	Astilla
Autocargador	<5 km	--	<4 km	--
Camión rígido	5-22 km	>22 km	--	--
Camión multilift	--	--	--	>20 km
Camión piso móvil	--	--	--	>20 km

Figura 32: Costes de transporte de biomasa bruta o astillas/triturado en función del acceso y kilómetros a la central.

Fuente: IDAE, *Evaluación del potencial de energía de la Biomasa. Estudio Técnico PER 2011-2020*.

Estas 2 suposiciones junto con las 2 hipótesis previas del mapa de restricciones generan 4 escenarios diferentes:



- **Escenario 1:**
  - **Zonas:** Lumbier, Liédena, Sangüesa Norte y Sangüesa Sur.
  - **Área de influencia:** 35 km

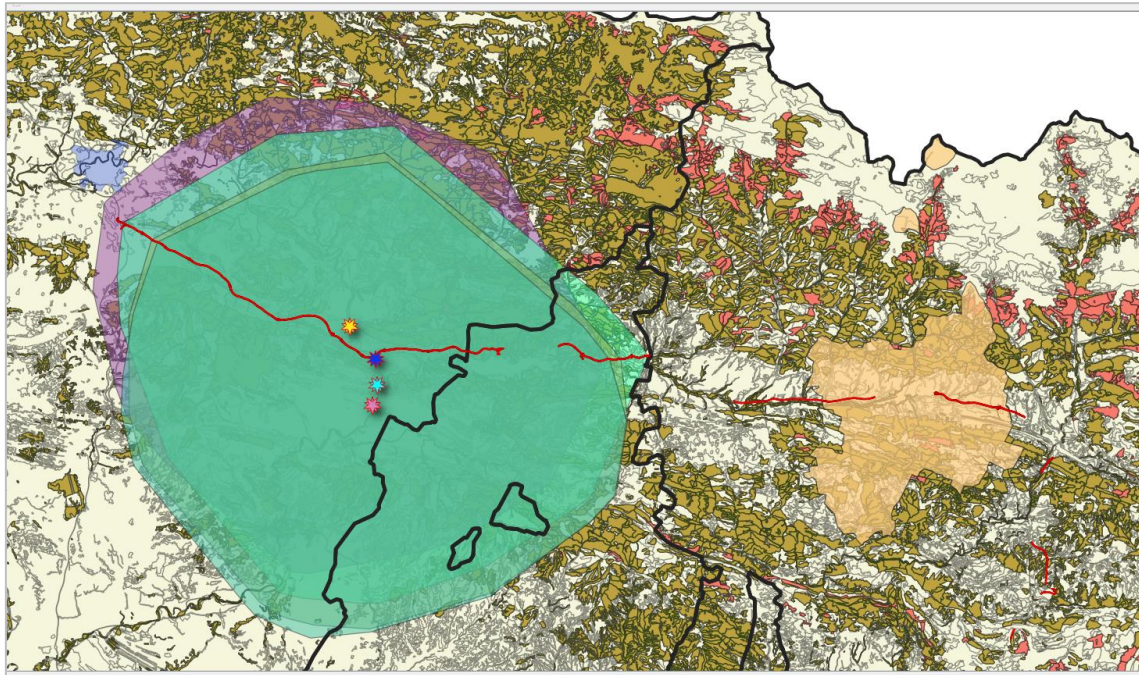


Figura 33: Escenario1. Áreas de influencia a 35 km de las centrales.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

- **Escenario 2:**
  - **Zonas:** Lumbier, Liédena, Sangüesa Norte, Sangüesa Sur y Berdún.
  - **Área de influencia:** 35 km

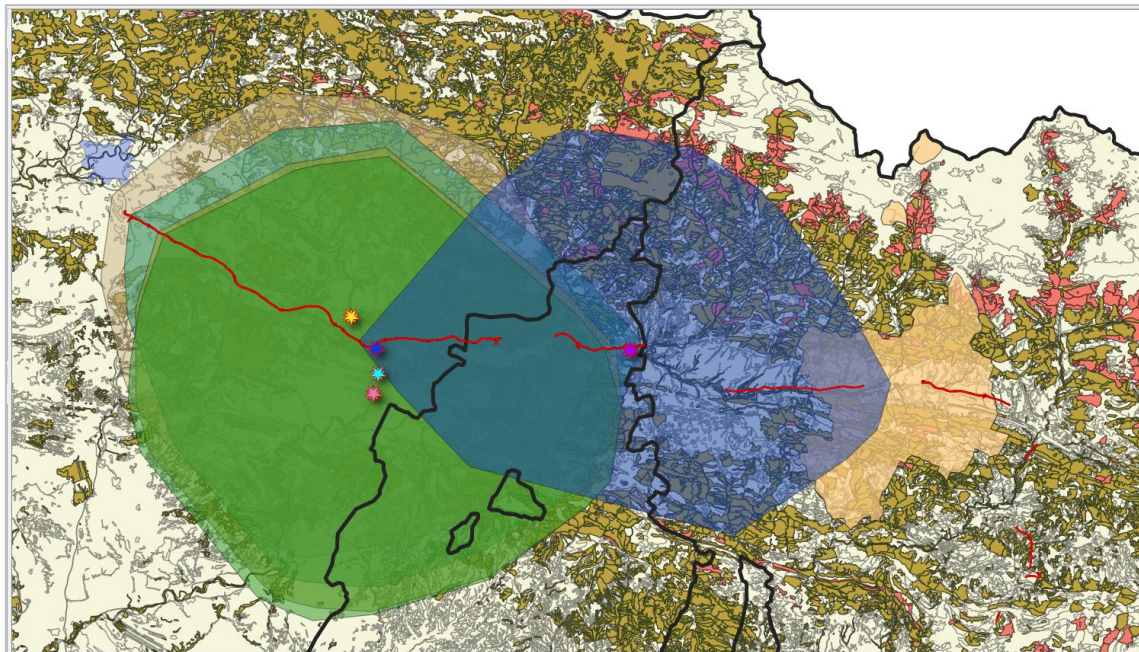


Figura 34: Escenario2. Áreas de influencia a 35 km de las centrales.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.



- **Escenario 3:**
  - **Zona:** Lumbier, Liédena, Sangüesa Norte, Sangüesa Sur y Berdún.
  - **Área de influencia:** 50 km

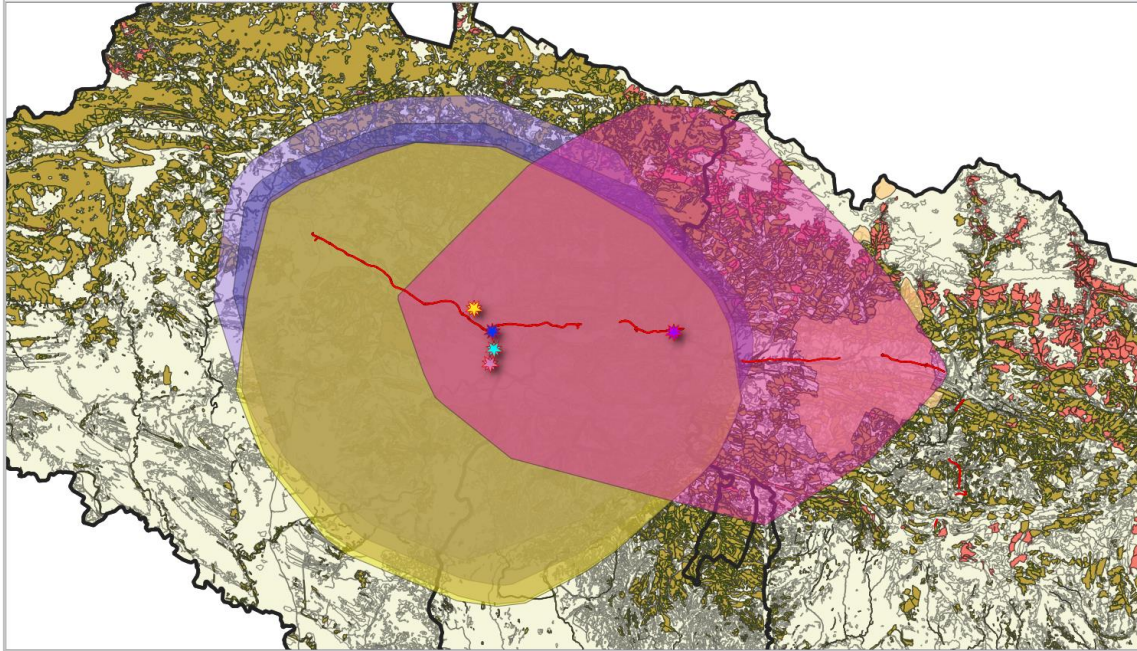


Figura 35: Escenario 3. Áreas de influencia a 50 km de las centrales.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

- **Escenario 4:**
  - **Zona:** Lumbier, Liédena, Sangüesa Norte y Sangüesa Sur
  - **Área de influencia:** 50 km

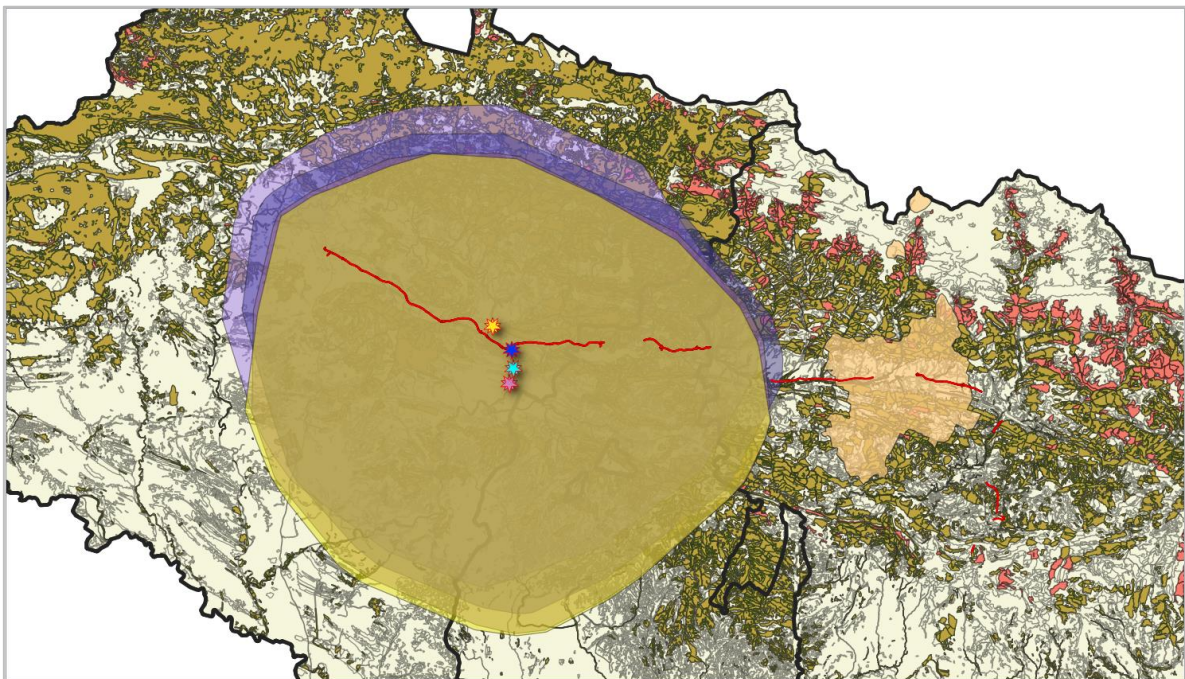


Figura 36: Escenario 4. Áreas de influencia a 50 km de las centrales.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.



## 3.2 CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE

### 3.2.1 Metodología para el cálculo del recurso disponible

En base a los cuatro escenarios descritos, se han generado distintas áreas de influencia que ha sido analizadas para ver el recurso disponible en cada uno de los escenarios.

El cálculo del recurso disponible se ha realizado utilizando los datos del MFE50. Se ha calculado mediante programas informáticos SIG todas las parcelas aptas dentro del área de influencia en cada escenario. Una de las características de estos archivos, es que lleva asociado una tabla de atributos que puede ser exportada para su tratamiento estadístico. Debido a esta particularidad, se ha realizado un tratamiento mediante hojas de cálculo (Excel) para la obtención del recurso global.

El MFE50 es un archivo en formato vectorial que está compuesto por todas las parcelas forestales de cada provincia, cada parcela lleva asociada una serie de campos que la definen en su conjunto. En la Tabla 6 se detallan los campos más significativos de cada capa.

Descripción de los campos de la capa: Mapa Forestal de España. 1:50.000		
ALIAS	CAMPO	DEFINICION
Nº de polígono	POLIGON	Asignado automáticamente por un campo autonumérico de la base de datos. Identifica a cada una de las teselas del Mapa Forestal en todo el territorio.
Fracción de cabida cubierta total	TFCCTOT	Representa valores entre 0 y 100% del total de la vegetación arbórea y de matorral. Proporciona información sobre la proyección sobre el suelo de los principales pisos de vegetación
Fracción de cabida cubierta arbórea	TFCCARB	Representa valores entre 0 y 100% del conjunto de las especies del estrato arbóreo como porcentaje de suelo cubierto por la proyección de todas las copas.
Provincia	PROV_MFE50	Código de la provincia según la Nomenclatura de las Unidades Territoriales Estadísticas
Clasificación IFN3	CLAS_IFN	Clasificación según el tercer nivel del Tercer Inventario Forestal Nacional
Uso del suelo	USOS_SUELO	Definición de los usos del suelo según el IFN3
Uso del suelo	USOS_GENER	Definición resumida de los usos del suelo
Tipo de Bosque	TIPO_BOSQU	Indica la tipología de bosque predominante
ID Formación Arbolado	ID_FORARB	La Formación Arbolada representa la comunidad vegetal arbórea de orden superior con fisiología y biología
Clasificación	CLA_FORARB	
Nombre Formación Arbolada	NOM_FORARB	

Tabla 6: Campos principales del MFE50 utilizados en el estudio.

Fuente: MAPAMA.



En la Figura 37 se puede ver la caracterización de una parcela del MFE50 donde la información puede ser editada y/o extraída de la fuente original y se puede añadir información desde una fuente externa.

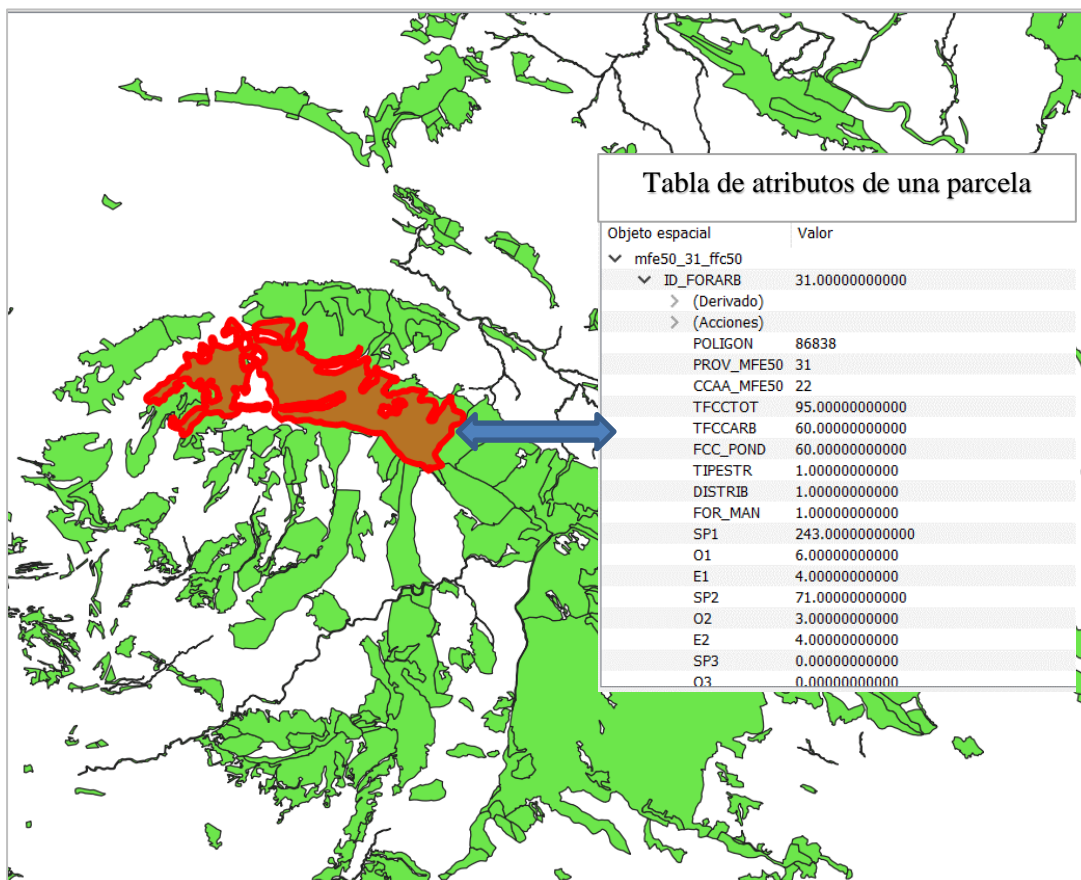


Figura 37: Caracterización de una parcela del MFE50.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

Esta característica ha permitido el cálculo de la biomasa final en cada parcela mediante QGIS y posteriormente el tratamiento conjunto de todas las parcelas en Excel.

En la Figura 38 se puede observar el flujograma de los procesos llevados a cabo para el cálculo de la Biomasa Total (BT), Biomasa Accesible (BA) y Biomasa Residual (BR).

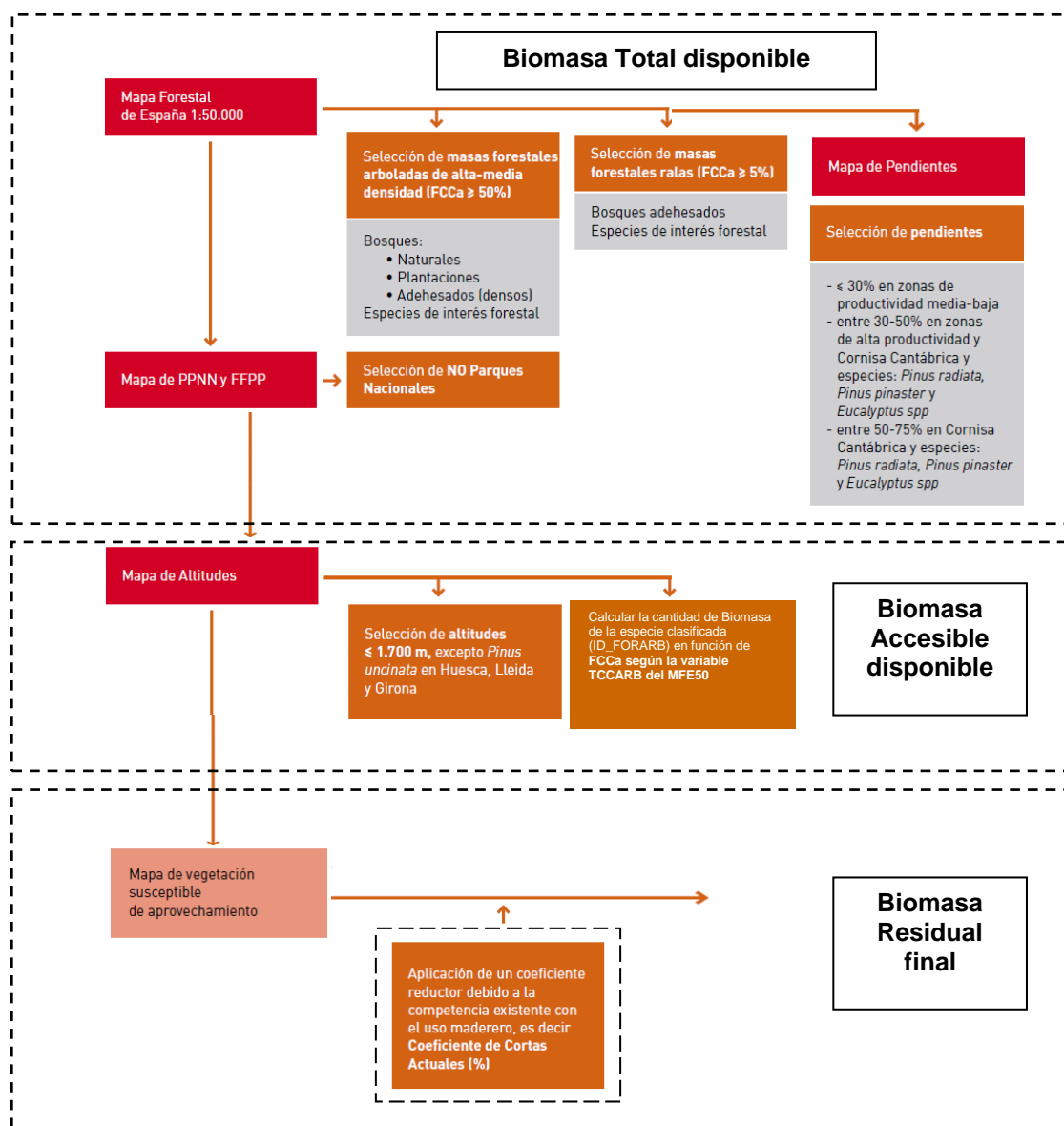


Figura 38: Flujograma de cálculo de la biomasa forestal residual final.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Instituto para la Diversificación y ahorro de la Energía (IDAE), "Evaluación del potencial de energía de la Biomasa". Estudio Técnico Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020.

### 3.2.2 Biomasa total disponible

En función de este flujograma, se generan nuevas variables que tienen que ser añadidas a la tabla de atributos de cada parcela (Ver ejemplo de la Figura 37) para poder calcular el recurso disponible. Para el cálculo de BT las variables a añadir en la tabla de atributos son:

- Índice de residuos (IR)
- Área de la parcela
- Pendiente media por parcela
- Poder calorífico superior (PCS)



### 3.2.2.1. Cálculo del Índice de Residuos y la superficie de parcela

Para el cálculo del IR, se han utilizado los residuos menores de 20cm, utilizando la codificación por especie implementada en el archivo vectorial como ID\_FORARB [34] como se puede ver en la Tabla 7.

- **IR** ( $t/(h \cdot \text{año})$ ), índice de residuos derivados de restos de diámetro inferior a 20cm.

Las tablas completas y la codificación e implementación en QGIS se explican en el “*Apartado 10.2*” de Cálculos.

Especie	Código de especie	Índice de Residuos <7 cm ( $t/ha \cdot \text{año}$ )	Índice de Residuos <20cm ( $t/ha \cdot \text{año}$ )
<i>Pinus halepensis</i>	24	1,79	3,12
<i>Pinus pinea</i>	23	1,71	1,89
<i>Pinus nigra</i>	25	1,62	1,86
<i>Pinus sylvestris</i>	21	0,63	0,97
<i>Fagus sylvatica</i>	71	1,01	1,45
<i>Quercus robur</i>	41	1,1	1,29
<i>Quercus petraea</i>	42	1,1	1,29
<i>Quercus pyrenaica</i>	43	4,9	4,9
<i>Quercus faginea</i>	44	3,92	3,92
<i>Quercus ilex</i>	45	4,67	4,67
<i>Quercus pubescens</i>	243	4,9	4,9
<i>Quercus canariensis</i>	47	4,89	4,89
<i>Quercus suber</i>	46	0,71	0,74
<i>Populus alba</i>	51	2,82	10,52
<i>Populus nigra</i>	52	2,82	10,52
<i>Populus tremula</i>	58	2,82	10,52
<i>Populus x canadensis</i>	258	2,82	10,52
Coníferas Mixtas	21,23,24,25	1,78	2,685
Frondosas Mixtas	71, 41 y 42	0,85	1,04
Coníferas + Frondosas	21,23,24,25, 71, 41 y 42	1,315	1,8625

Tabla 7: Índice de residuos según tratamiento silvícola. Resumen.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del IDAE, Evaluación del potencial de energía de la Biomasa. Estudio Técnico PER 2011-2020.

Se añaden también otras dos variables a cada parcela:

- **Área** (*ha*), superficie de cada parcela
- **PCS (Humedad=0) (MJ/kg)** que es función de la variable “TIPO\_BOSQU” del MFE50. Las tablas completas y la codificación e implementación en QGIS se explican en el “*Apartado 10.5*” de Cálculos.

### 3.2.2.2. Análisis de pendiente óptima para extracción

La pendiente del terreno condiciona los rendimientos de los trabajos de aprovechamiento en función de los posibles sistemas logísticos y de extracción. Se distinguen cuatro rangos de pendientes: 0-10%, 10-30%, 30-50% y 50-75%.

Se limita el aprovechamiento por razones económicas, de mecanización y de erosión de terrenos con pendiente igual o menor al 30%. Para establecer los valores correctores debido a este factor, se han tenido en cuenta los intervalos de pendiente planteados por los estudios sobre el *terreno versus la eficiencia de extracción*. En la Tabla 8 se observa la clasificación del estudio [35].

Pendientes (%)	Eficiencia en la extracción de Biomasa (%) Coeficiente reductor (Cr)
$k < 10$	80
$10 < k < 30$	70
$30 < k < 50$	20
$k > 50$	0

Tabla 8: Pendiente del terreno vs. eficiencia de extracción de biomasa forestal.

Fuente: Elaboración propia basado en el «Estudio de disponibilidad de biomasa en seis zonas de Castilla y León». Bengoa, J.

En este estudio se ha considerado un Coeficiente reductor (Cr) del 75% en la eficiencia de la recogida para todas aquellas parcelas con pendiente menor de 30%. Este Cr se obtiene como valor promedio de los dos rangos de pendientes ( $k < 10\%$  y  $10 < k < 30$ ) de la Tabla 8.

Se siguen los pasos del “Apartado 2.2” de Cálculos para obtener la pendiente (*Ráster*→*Análisis>Pendiente*) utilizando los Modelos Digitales del Terreno (MDT). Después, se han obtenido las pendientes medias por parcela que han sido añadidas a la tabla de atributos. De esta forma, se obtiene los mapas de pendientes (Figura 39) y de pendiente media por parcela (Figura 40).

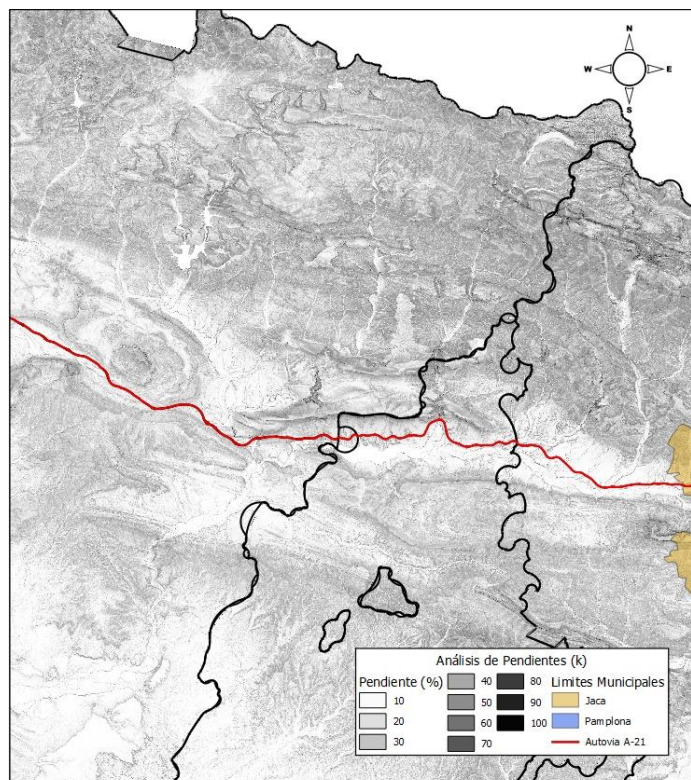


Figura 39: Pendientes ráster de la zona de análisis.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MAPAMA.



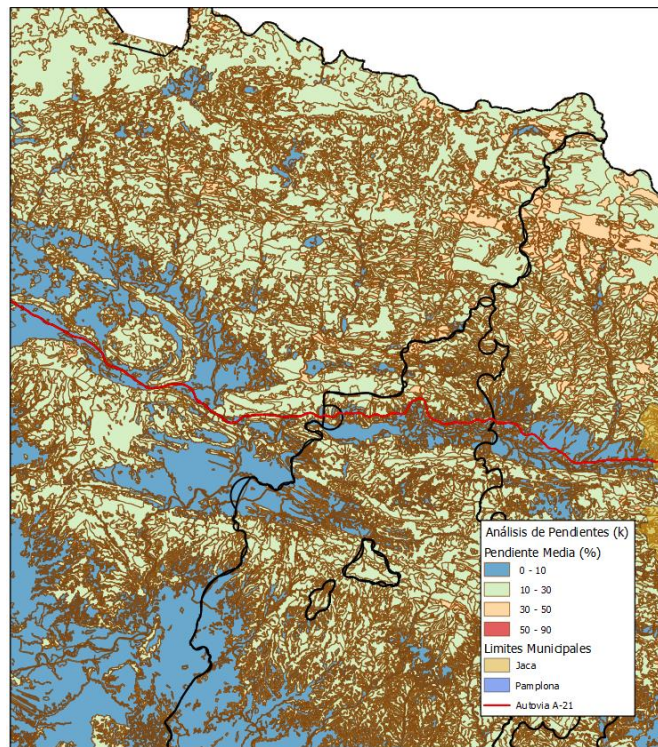


Figura 40: Pendientes medias (%) de las parcelas de la zona de análisis.  
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de MAPAMA.

### 3.2.2.3. Cálculo de la Biomasa Total

Para el cálculo de BT, se utilizan solo las parcelas que cumplan:

- FCCa  $\geq$  50%
- Masas Forestales dispersas  $\geq$  5% y especies de interés forestal
- Parcelas que NO estén dentro de Parques Nacionales
- Pendiente media por parcela  $>$  30%

Las parcelas obtenidas después de aplicar estas condiciones se pueden observar en Figura 41. Esta capa vectorial es la capa básica sobre la que se calcula la cantidad de recurso disponible en función del escenario elegido, ya que, para la calcular la Biomasa Accesible (BA) y la Biomasa residual final (BR), se aplican coeficientes sobre la BT pero no se limitan las parcelas en función de ninguna otra restricción.

Una vez obtenido el IR y el área de cada parcela (S) [36], se obtiene la biomasa total por parcela utilizando la calculadora de campos de QGIS. El dato de BT por parcela se extrae en formato .csv de QGIS y se realiza el sumatorio de todas las BT para cada escenario. Este sumatorio se obtiene mediante la ecuación 2 en una hoja de cálculo. También se calcula la energía total como aparece en la ecuación 3:

$$Biomasa\ Total\ \left(\frac{t}{año}\right) = [\sum IR_i * S_i] \quad (2)$$

$$Energía\ Total\ \left(\frac{MJ}{año}\right) = [\sum IR_i * S_i] * PCS_j \quad (3)$$

Donde:

i :Nº de polígono de cada parcela.

j: PCS de cada tipo de bosque (conífero, frondoso o mixto)



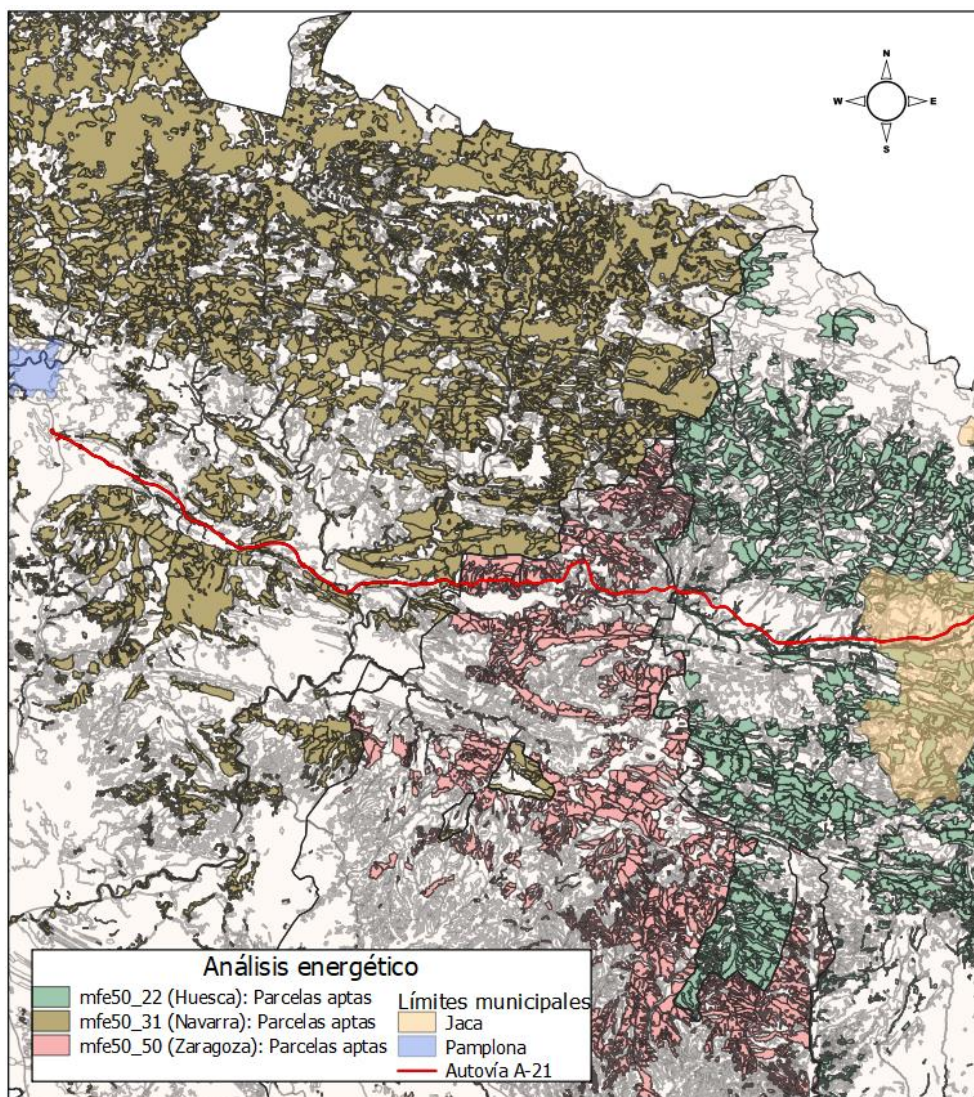


Figura 41: Análisis energético. Parcelas aptas de la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia en base datos de MAPAMA.

### 3.2.3 Biomasa Accesible

Según el flujograma descrito en el primer apartado, se considera BA a aquella biomasa que no está por encima de los 1700 metros de altitud y a la cual se le ha aplicado el porcentaje de FCCa por cada parcela.

#### 3.2.3.1. Parcelas ubicadas a >1700 m

Se ha realizado un análisis de la altimetría utilizando el MDT con una distribución discreta y analizando aquellas parcelas aptas que se encuentren a más de 1700m de altura (Figura 42). Existen 4 parcelas que cumplen con este criterio, pero como se puede observar en la Figura 42, la parcela seleccionada se trata de una parcela de *Pinus Uncinata* la cual no entra dentro de esta restricción en la provincia de Huesca [37].

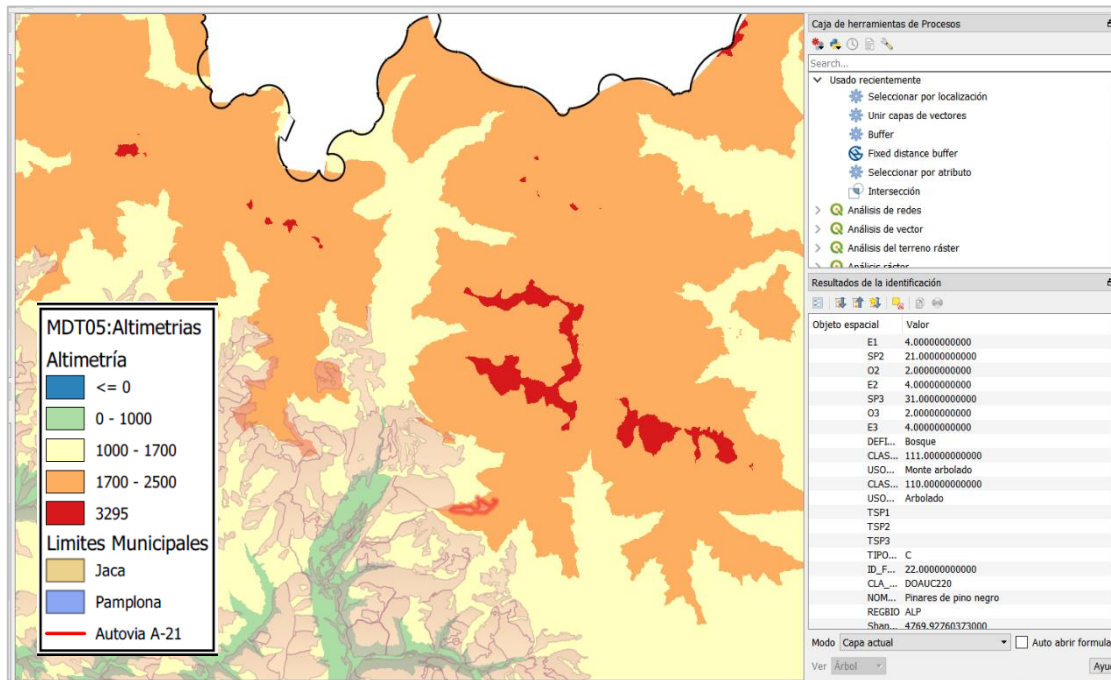


Figura 42: Eje de estudio Pamplona-Jaca: Detalle altimétrico de la zona de estudio. Interpolación discreta vs. parcelas aptas Berdún 50 km.

Fuente: Elaboración propia en base datos de MAPAMA.

### 3.2.3.2. Cálculo de la Biomasa Accesible

Al no haber restricción en cuanto a la altura, el cálculo de la BA se hace directamente utilizando el campo TFCCARB del MFE50 que categorizada cada parcela según la FCCa multiplicándolo por la BT en la calculadora de campos de QGIS.

Conocido este dato, la BA se ha calculado exportando los datos en formato .csv y realizando un sumatorio de todas las BA en una hoja de cálculo mediante la ecuación 4. También se calcula la accesible como aparece en la ecuación 5:

$$Biomasa\ Accesible\left(\frac{t}{año}\right)=\left[\sum IR_i * S_i\right] * Fcc_a \quad (4)$$

$$Energía\ Accesible\left(\frac{MJ}{año}\right)=\left[\sum IR_i * S_i\right] * Fcc_a * PCS_j \quad (5)$$

### 3.2.4 Biomasa potencial Residual

La biomasa potencial residual es la biomasa que según este estudio es aprovechable para fines energéticos. Basándose en el flujograma inicial, la BR se logra aplicándole un coeficiente reductor a la BA.

#### 3.2.4.1. Cálculo de la Biomasa potencial Residual

Se ha usado la ecuación 6 para calcular la Biomasa potencial Residual disponible (BR) utilizando como base la Biomasa Potencial Accesible (BA) y aplicando el Coeficiente de Cortas Actuales (CCA). También se calcula la energía residual útil como aparece en la ecuación 7:

$$Biomasa\ potencial\ Residual\left(\frac{t}{año}\right)=\left[\sum IR_i * S_i\right] * Fcc_a * CCA \quad (6)$$

$$Energía\ Residual\ útil\left(\frac{MJ}{año}\right)=\left[\sum IR_i * S_i\right] * Fcc_a * CCA * PCS_j \quad (7)$$



CCA viene definido como el coeficiente de cortas actuales de madera que se llevan a cabo sobre las masas con otro fin, principalmente maderero. La implementación de los distintos valores de CCA a las diferentes especies se explica en el “*Apartado 10.4*” de *Cálculos*.

### 3.2.5 Área de influencia de la central

El área de influencia de la central es otro de los puntos clave para el cálculo del recurso disponible. Define la distancia desde la central hasta los límites parcelarios en función de cada escenario. En la Figura 43 se puede observar un ejemplo de las áreas de influencia del escenario 2 entre las centrales de Lumbier y Berdún.

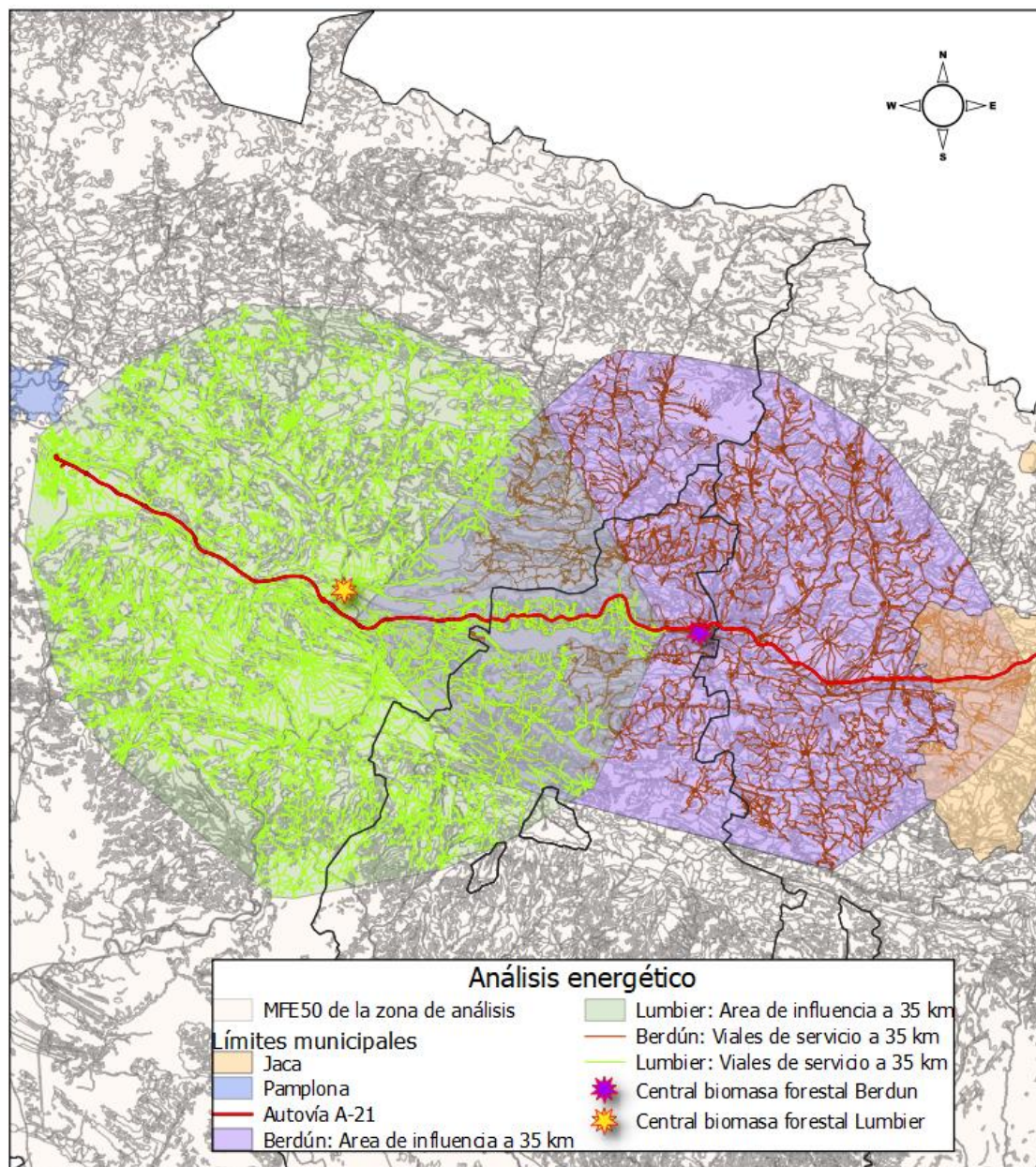


Figura 43: Análisis del área de influencia. Ejemplo de la zona de influencia a 35 km de las centrales de Lumbier y Berdún.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

### 3.2.6 Área de compartida

En los escenarios 2 (35 km) y 3 (50 km), al calcular el recurso disponible entre dos centrales en el mismo eje, la zona intermedia entre ambas se solapa y se crea un área de compartida. El recurso energético que aporta esta área al global hay que dividirlo entre las dos centrales a la hora de realizar los cálculos.

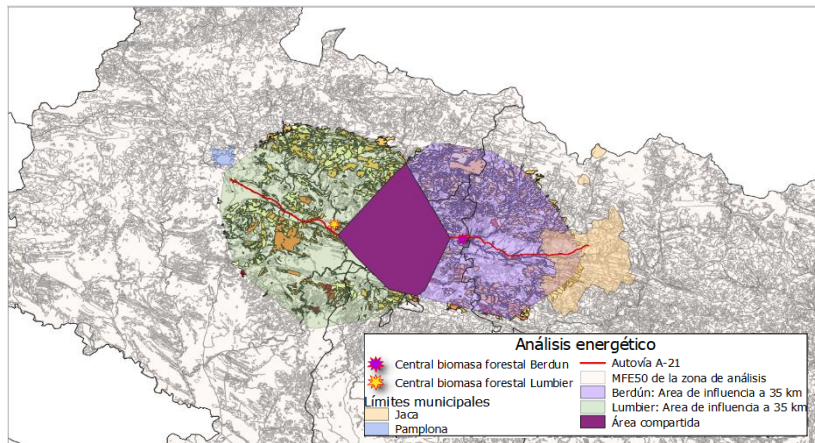


Figura 44: Análisis del escenario 2. Ejemplo de la zona compartida entre Lumbier y Berdún.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

### 3.3 INTERSECCIÓN ENTRE LAS PARCELAS APTAS Y EL ÁREA DE INFLUENCIA

Una vez se han obtenido las áreas de influencia de las centrales en los diferentes escenarios propuestos se realiza una intersección en ambas capas vectoriales que da lugar a lo que se denomina Mapas Energéticos

En la Figura 45 se puede observar la intersección *escenario 2* entre las áreas de influencia de las centrales y las parcelas donde es posible obtener biomasa forestal residual.

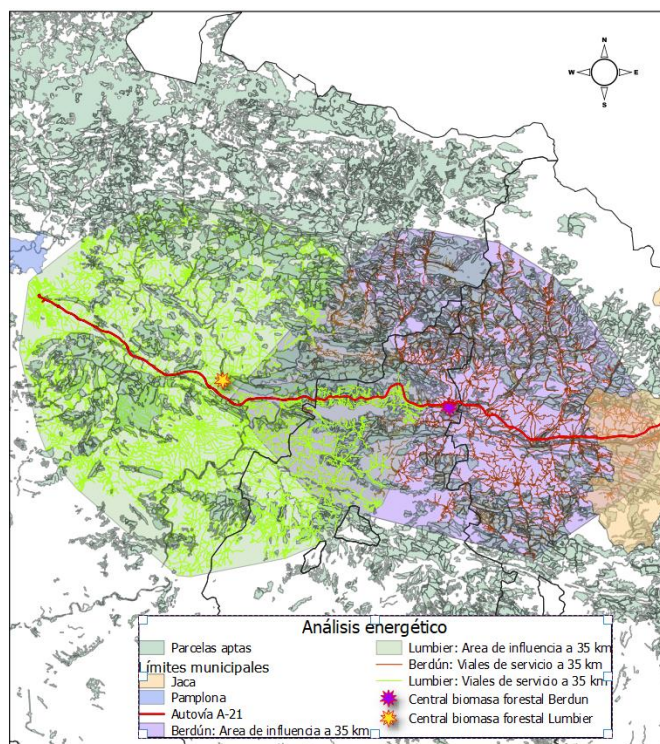


Figura 45: Análisis del área de influencia. Ejemplo de la zona de influencia a 35 km de las centrales de Lumbier y Berdún y las parcelas aptas como resultado del análisis.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.



### 3.3.1 Análisis de distancia a vías de comunicación

Finalmente, una vez obtenidas las parcelas aptas dentro de la zona de influencia de cada central, se analiza la distancia a los viales para poder realizar el desembosque. Según los estudios realizados la productividad de desembosque ronda los 2000-3000 metros y a partir de esa distancia se considera nula [38].

Se aplica la distancia generando un área de influencia (*Vectorial*→ *Herramientas de geoprocso*→ *Buffer*) de 2000 metros respecto a los viales que estén dentro de cada análisis. En la Figura 46 se puede ver la importancia de este análisis ya que parcelas que están dentro del área de influencia quedan fuera por no tener una distancia dentro de los rangos aptos de desembosque. Se consideran *NO APTAS* aquellas parcelas que no tengan ninguna zona de la parcela dentro de la zona de desembosque.

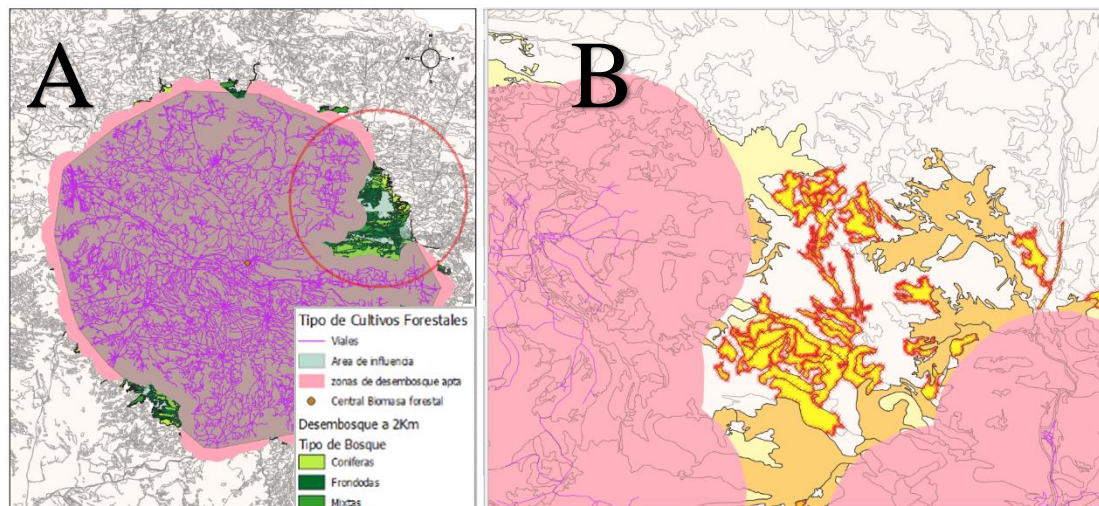


Figura 46: Análisis de la distancia a los viales. A: Detalle general de la zona de desembosque y parcelas fuera de la zona de desembosque. B: Detalle de las parcelas eliminadas debido a que no entran en el área de desembosque.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

### 3.4 MAPAS Y DISTRIBUCIÓN ENERGÉTICA DE LAS PARCELAS APTAS

En este apartado se muestran las distribuciones energéticas de las parcelas aptas en función de los diferentes escenarios. Para ello se exportan los datos finales de las parcelas aptas con las BT, BA y BR.

Para el escenario 1 y 4 se tienen 4 zonas óptimas, mientras que para la 2 y 3 se tienen 5 zonas.

- **Escenario 1 y 4:** Lumbier, Liédena, Sangüesa norte y Sangüesa sur.
- **Escenario 2 y 3:** Lumbier, Liédena, Sangüesa norte, Sangüesa sur y Berdún.

#### 3.4.1 Escenario 1: Eficiencia a 35 km

En esta hipótesis, se aplican las restricciones según se ha establecido en los apartados anteriores y el mapa de restricciones se asemeja al de la Figura 23 donde solo la CFN alberga la posibilidad de la instalación de una Central de Biomasa. A continuación, se muestran los diferentes mapas con todas las parcelas energéticamente aptas según el modelo de estudio para cada una de las 4 ubicaciones del análisis. En todos ellos, se representa la productividad energética de cada parcela en función de los de los MJ/(ha\*año).

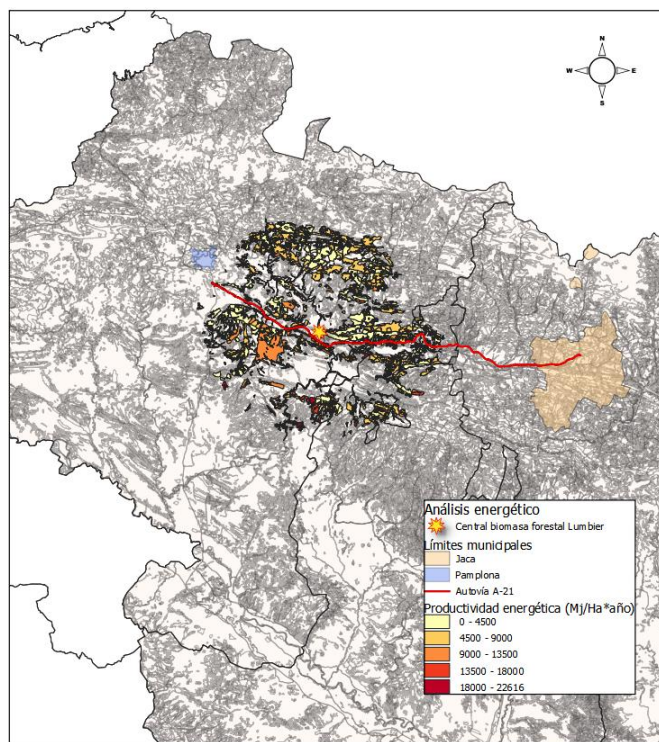


Figura 47: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km  
Escenario 1: Lumbier.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

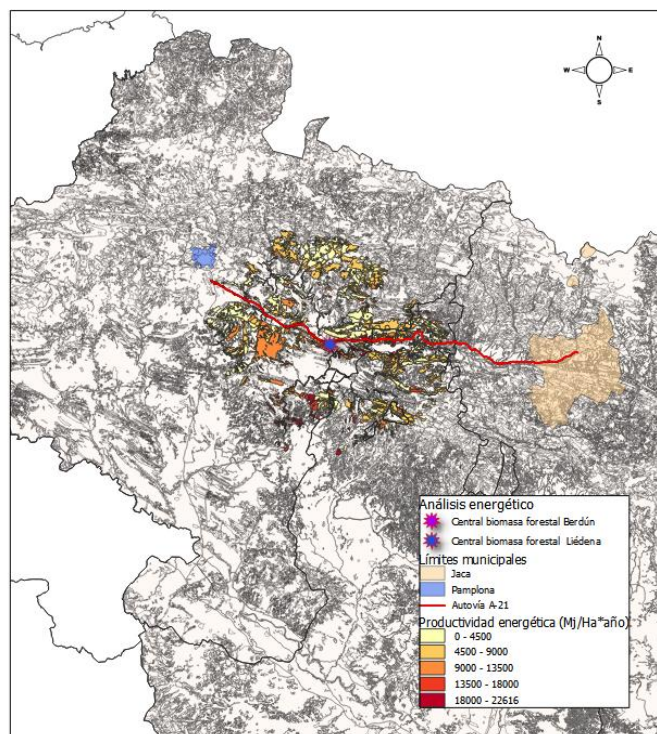


Figura 48: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km  
Escenario 1: Liédena.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.



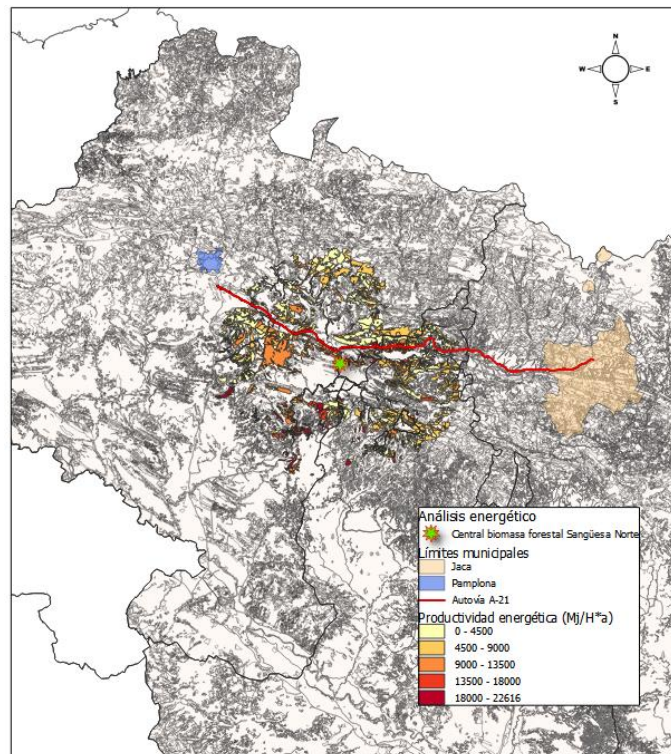


Figura 49: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. Escenario 1: Sangüesa norte.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

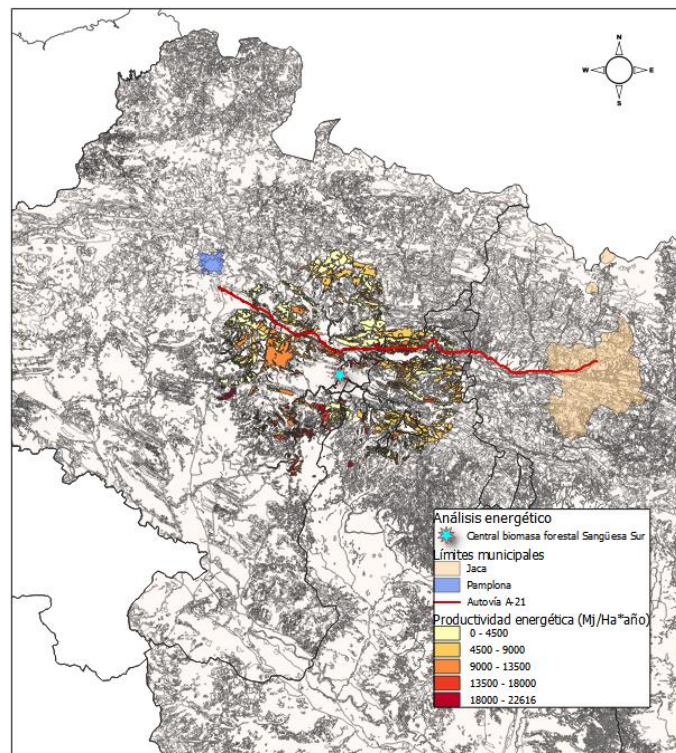


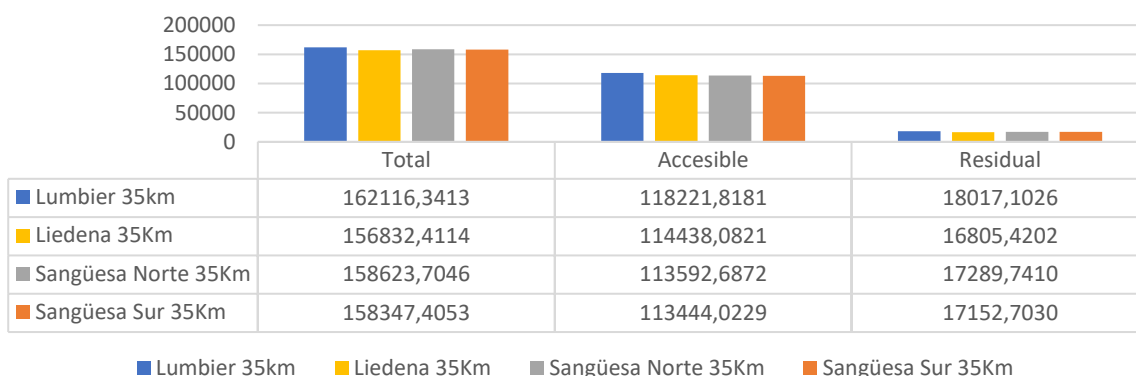
Figura 50: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km. Escenario 1: Sangüesa sur.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

Se han realizado los diferentes análisis de zona de influencia en las 4 subzonas de estudio mostrando el resultado siguiente:



### Escenario 1: Biomasa total vs. accesible vs. residual (t/año)



### Escenario 1: Energía total vs. accesible vs. residual (MJ/año)

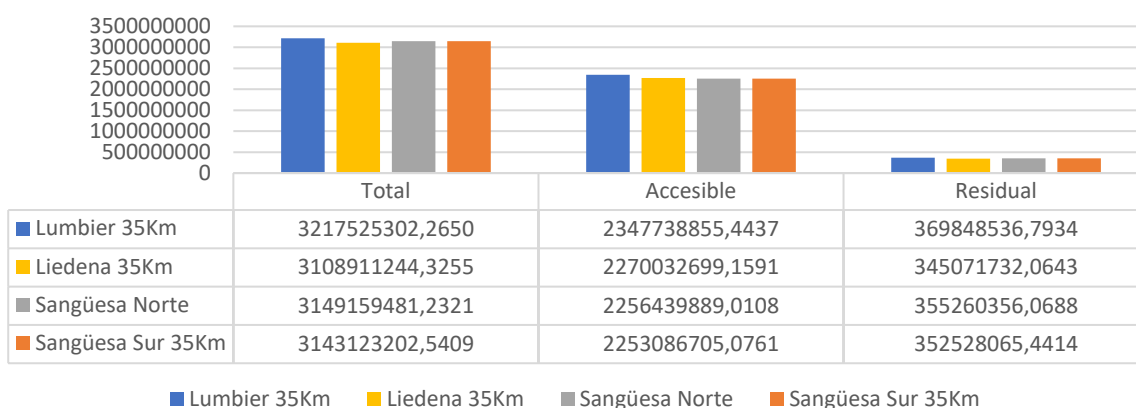


Tabla 9: Escenario 1: Biomasa y energía total vs. accesible vs. residual.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

### Escenario 1 Potencia total vs. accesible vs. residual (MW)

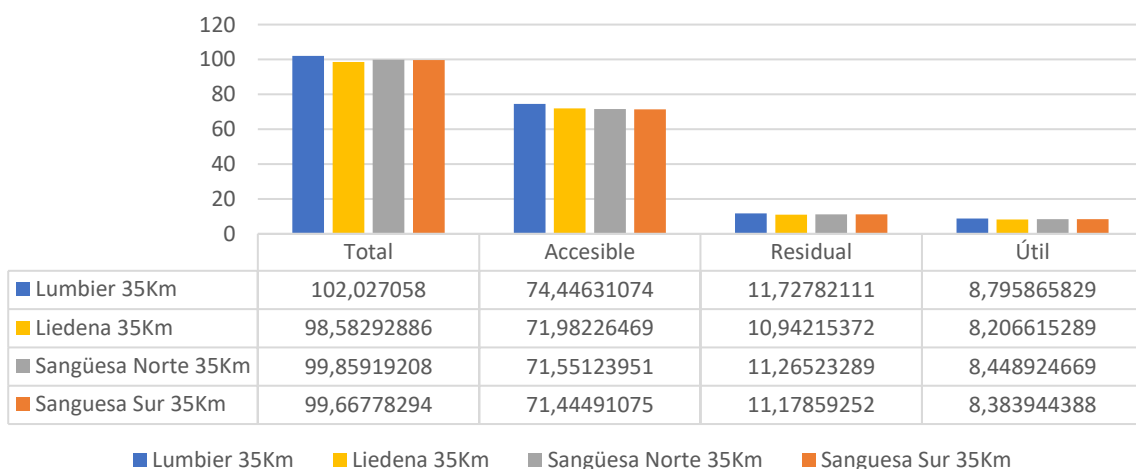


Tabla 10: Escenario 1: Biomasa total vs. accesible vs. residual.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

Según los datos obtenidos, la ubicación óptima para el **escenario 1** es la localidad de Lumbier.



### 3.4.2 Escenario 2: Eficiencia 35 km con SET a 4,5 km Berdún

En el escenario 2, se ha realizado el análisis a un radio de 35 km de distancia respecto de la central de Berdún (este), combinándola con una central al oeste.

A continuación, se muestran los diferentes mapas con las todas las parcelas energéticamente aptas para cada una de las 4 combinaciones del análisis. En todos ellos, se representa la productividad energética de cada parcela en función de los de los MJ/(ha\*año).

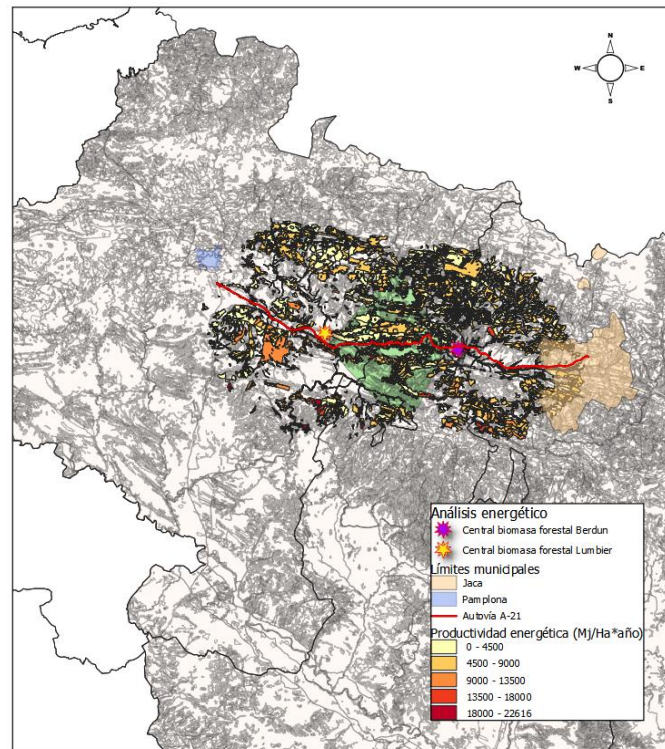


Figura 51: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km  
Escenario 2: Lumbier-Berdún.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

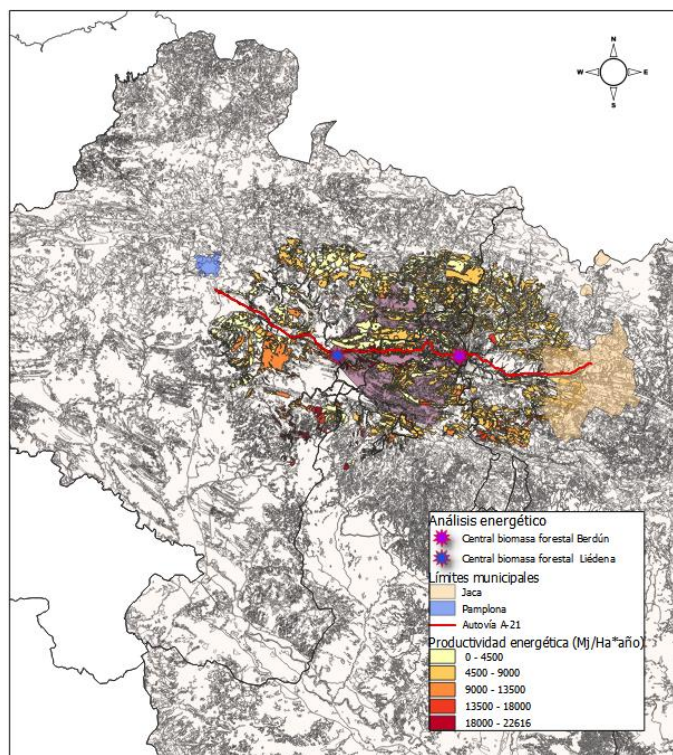


Figura 52: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km  
Escenario 2: Liédena-Berdún.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

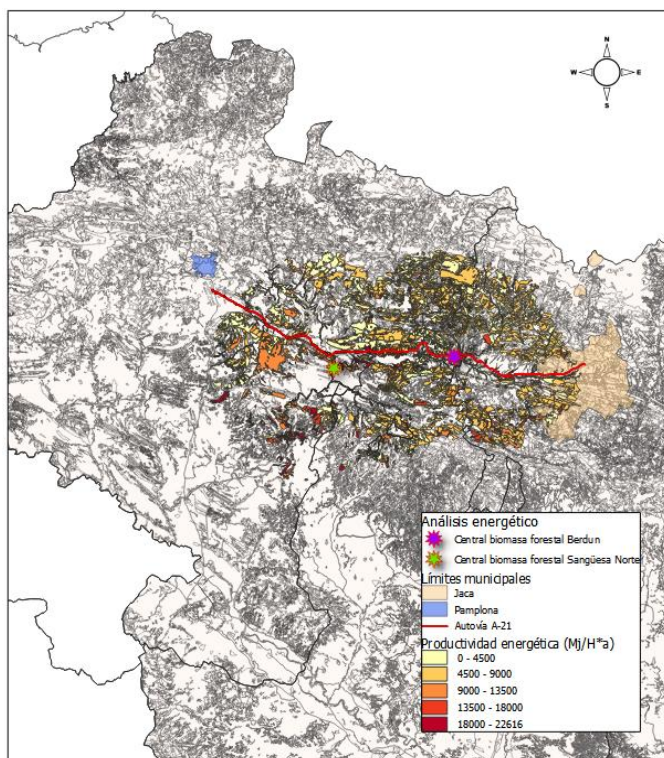


Figura 53: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km  
Escenario 2: Sangüesa norte-Berdún.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

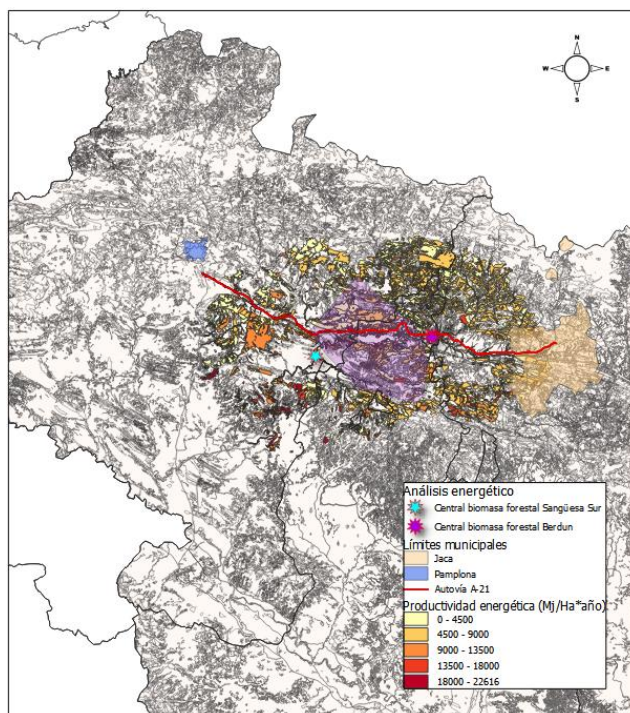
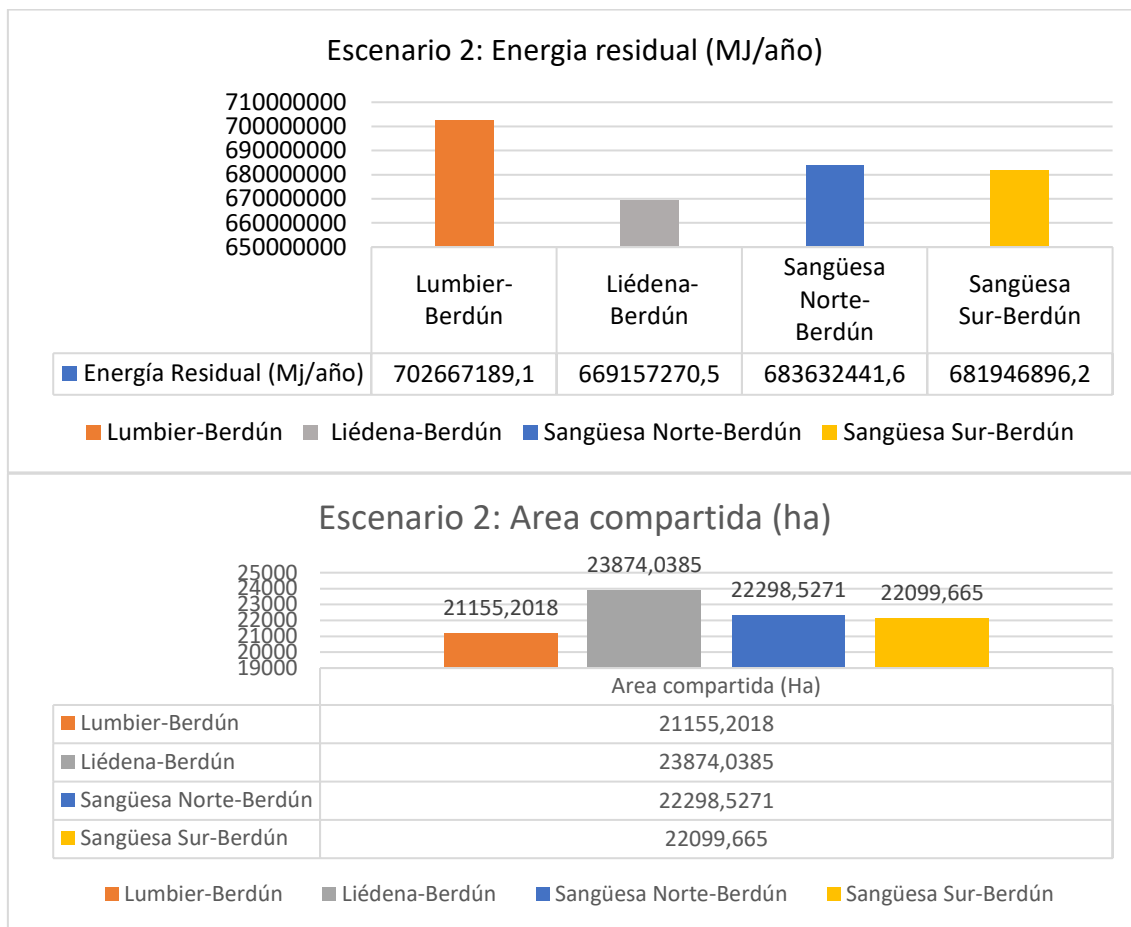


Figura 54: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 35 km  
Escenario 2: Sangüesa sur-Berdún.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

Se han tenido en cuenta las áreas comunes entre las áreas de influencia de cada ubicación y se obtienen las diferentes combinaciones para obtener la máxima energía con la máxima eficiencia. Se obtienen los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 11:





*Tabla 11: Escenario 2: Energía residual (MJ/año) y área compartida.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.*

Según los datos obtenidos, la combinación óptima para el **escenario 2** es la instalación de 2 centrales del mismo tamaño una en el término municipal de Lumbier y la otra central en Berdún.

### 3.4.3 Escenario 3: Máxima cobertura con la Subestación de Berdún 4,5 Km

En el escenario 3, se ha realizado el análisis a un radio de 50 km de distancia respecto de la central de Berdún (este), combinándola con una central al oeste.

A continuación, se muestran los diferentes mapas con las todas las parcelas energéticamente para cada una de las 4 combinaciones del análisis. En todos ellos, se representa la productividad energética de cada parcela en función de los de los MJ/(ha\*año).



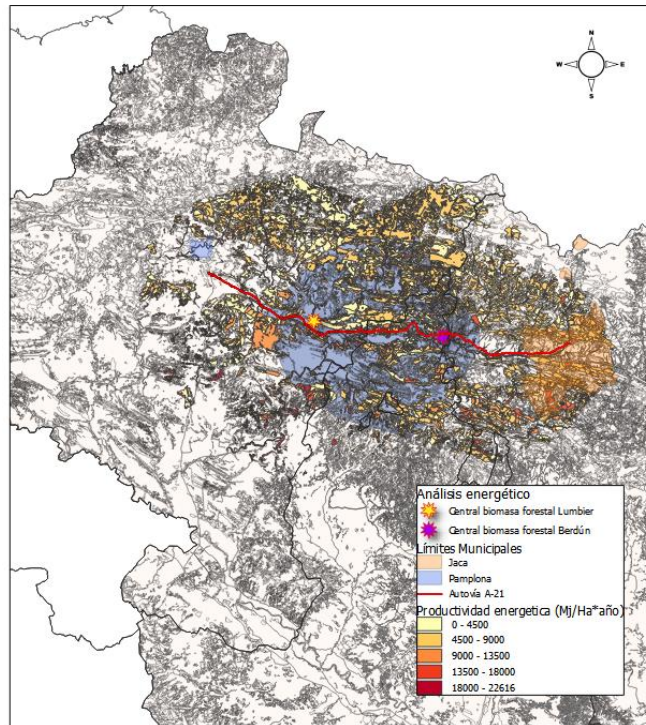


Figura 55: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km  
Escenario 3: Lumbier-Berdún.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

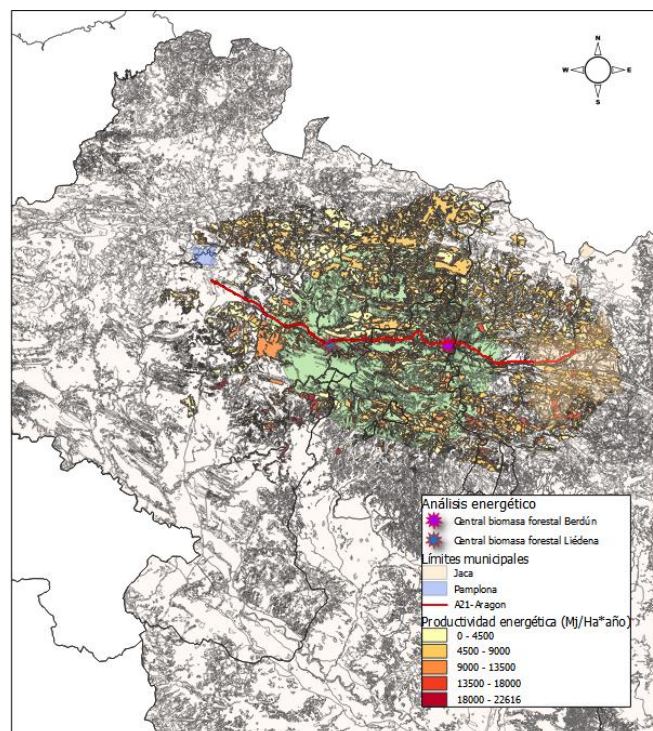


Figura 56: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km  
Escenario 3: Liédena-Berdún.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

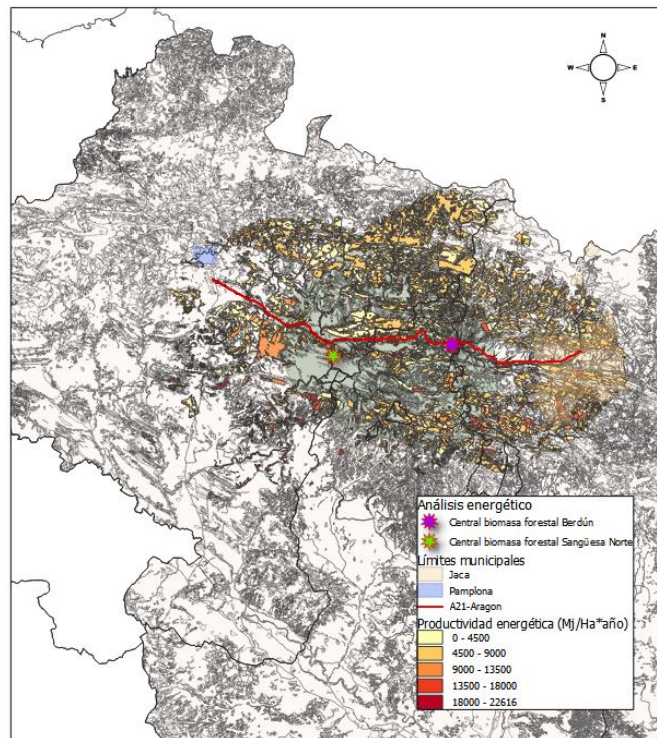


Figura 57: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km  
Escenario 3: Sangüesa norte-Berdún.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

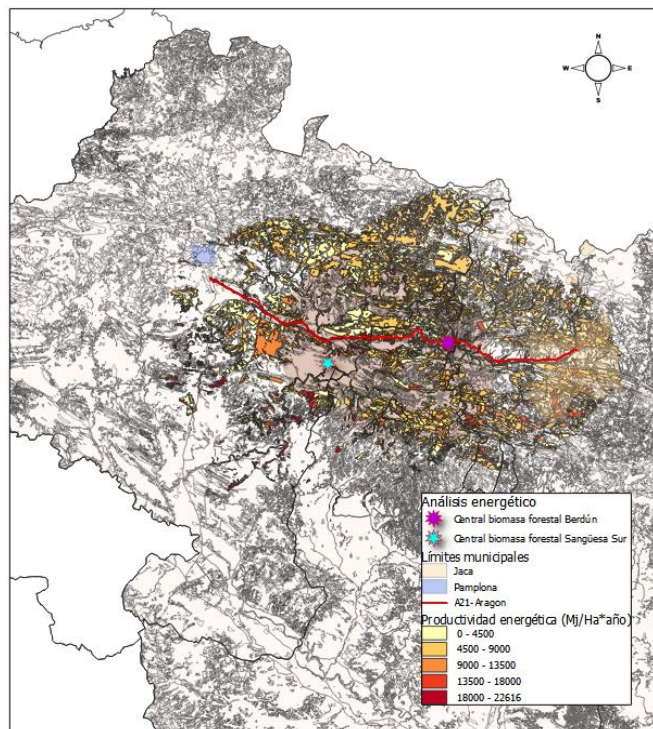
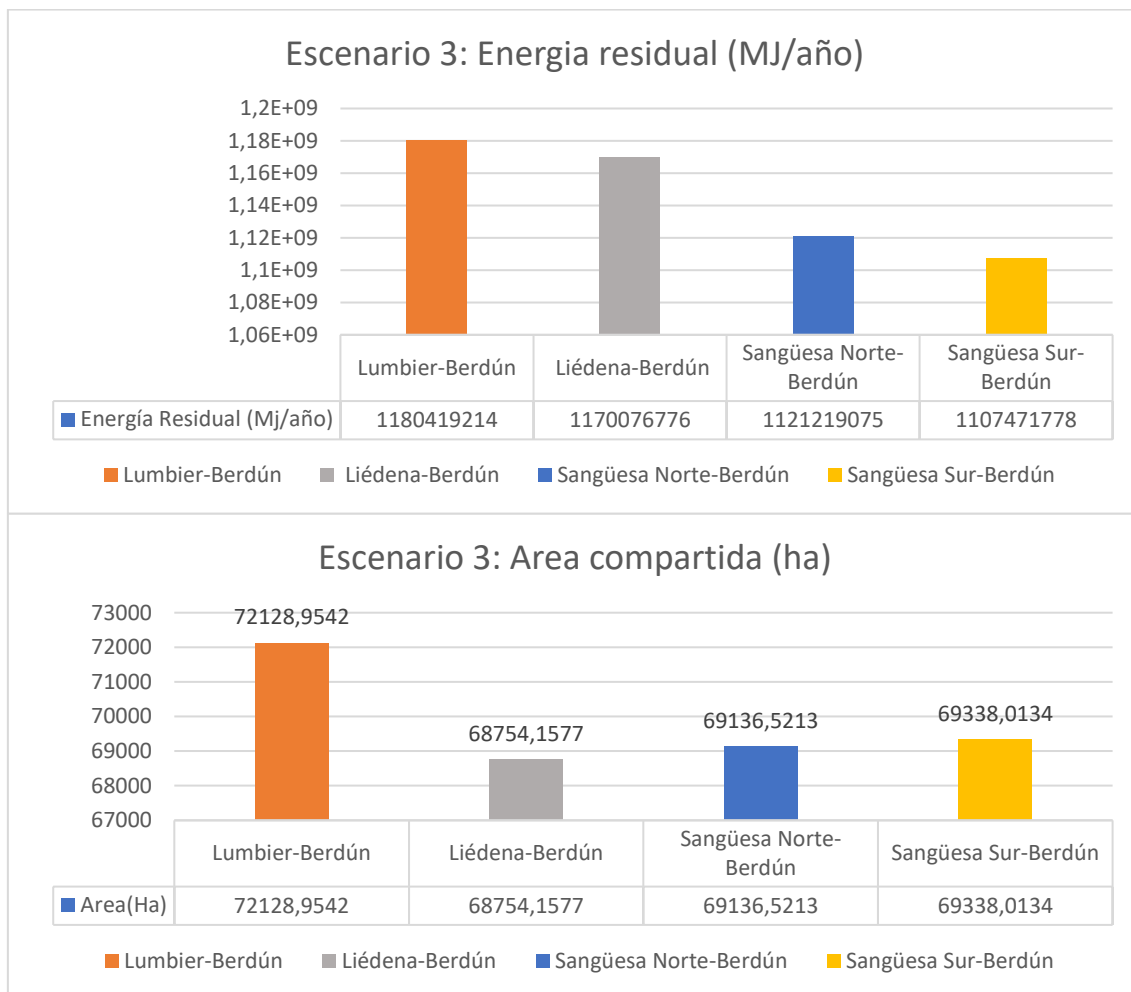


Figura 58: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km  
Escenario 3: Sangüesa sur-Berdún.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

Se obtienen los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 12 donde se muestra la energía Residual (MJ/año) que se podría obtener y el Área compartida en hectáreas (ha) entre las diferentes instalaciones.



*Tabla 12: Escenario 3: Energía residual (MJ/año) y área compartida.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.*

Según los datos obtenidos, la combinación óptima para el **escenario 3** es la instalación de 2 centrales del mismo tamaño una en el término municipal de Lumbier y la otra central en Berdún.

#### 3.4.4 Escenario 4: Máxima cobertura a 50 km

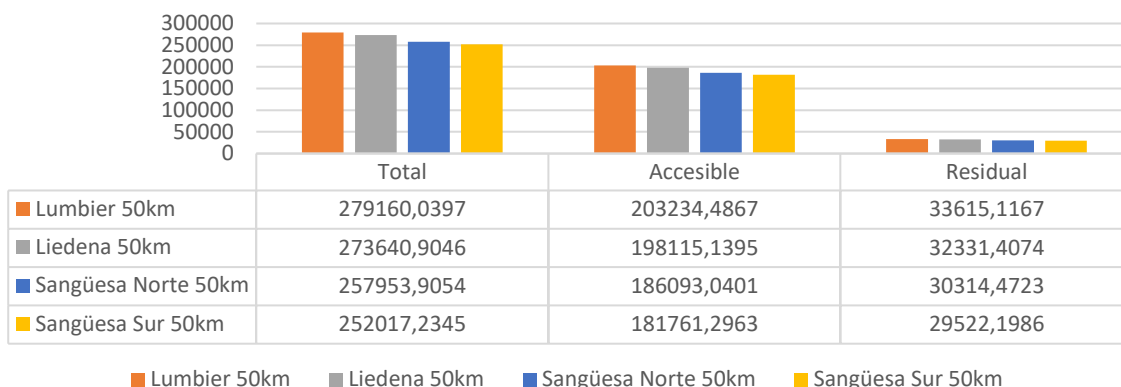
En este escenario, se aplican las restricciones según se ha establecido en los apartados anteriores y el mapa de restricciones se asemeja al de la Figura 23 donde solo la CFN alberga la posibilidad de la instalación de una central de biomasa. Se estima una cobertura máxima de 50 km de distancia desde las instalaciones de procesamiento de los residuos de biomasa forestal.

A continuación, en la Tabla 13 y la Tabla 14 se muestran los datos obtenidos de las diferentes áreas de estudio.





#### Escenario 4: Biomasa total vs. accesible vs. residual (t/año)



#### Escenario 4: Energía total vs. accesible vs. residual (MJ/año)

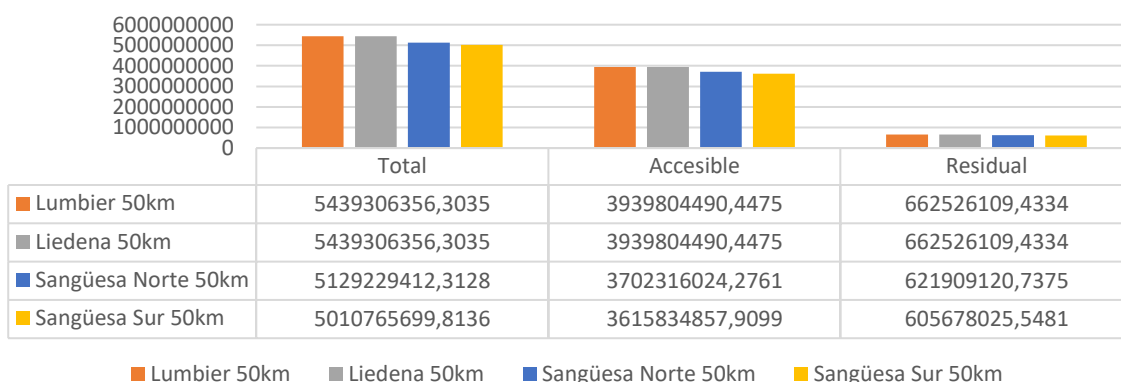


Tabla 13: Escenario 4: Biomasa y energía total vs. accesible vs. residual.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

#### Escenario 4: Potencia total vs. accesible vs. residual (MW)

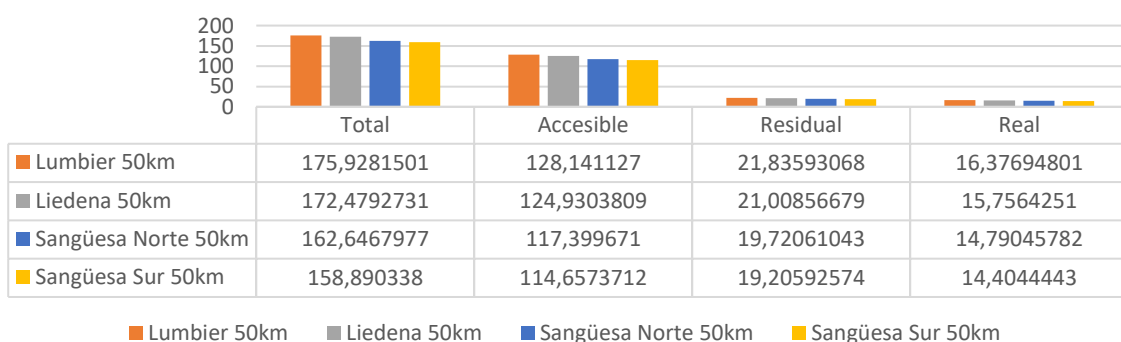


Tabla 14: Escenario 4: Biomasa total vs. accesible vs. residual.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

En segundo lugar, se muestran los diferentes mapas con las todas las parcelas energéticamente aptas según el modelo de estudio para cada una de las 4 ubicaciones del análisis. En todos ellos, se representa la productividad energética de cada parcela en función de los de los MJ/(ha\*año).

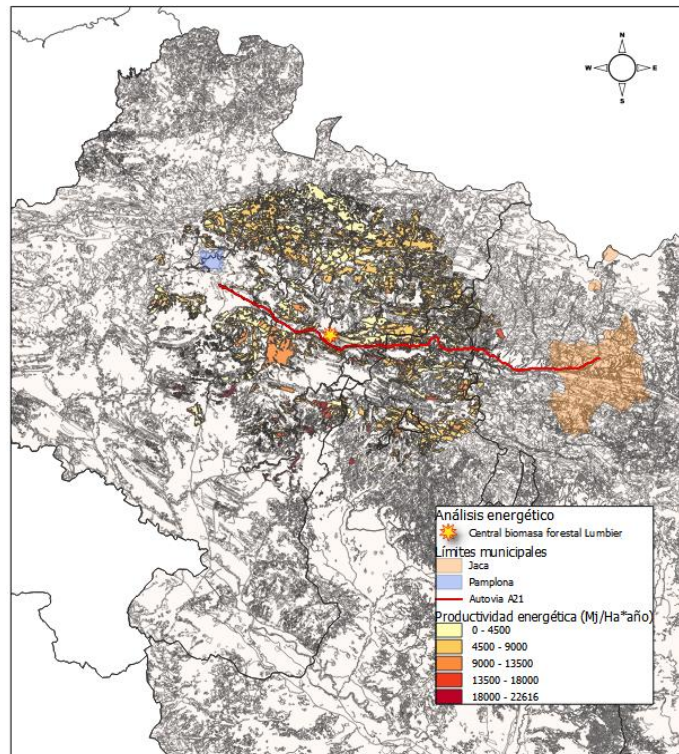


Figura 59: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km.  
Escenario 4: Lumbier.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

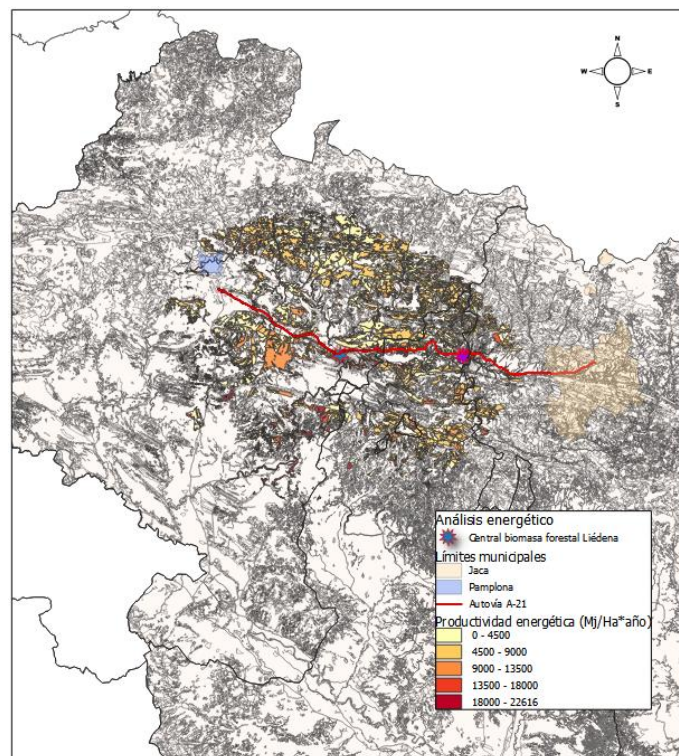


Figura 60: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km.  
Escenario 4: Liédena.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.



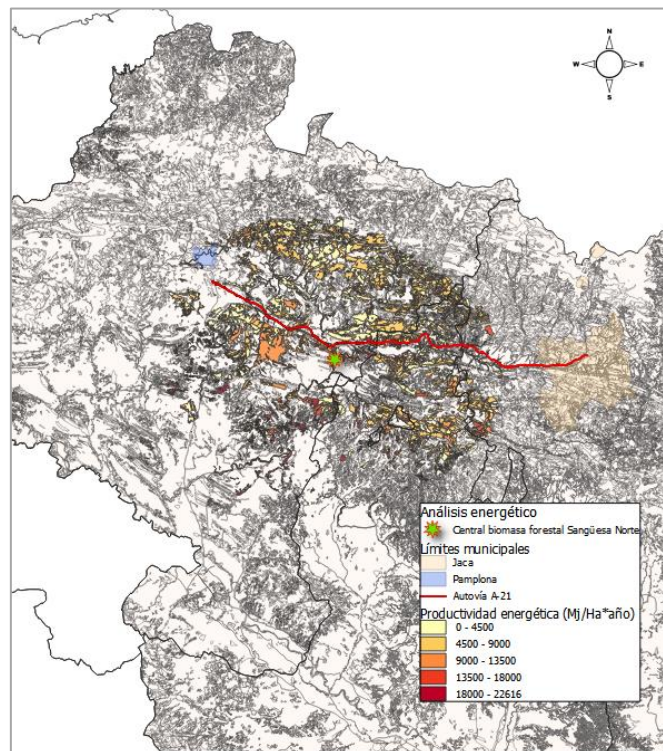


Figura 61: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km.  
Escenario 4: Sangüesa norte.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

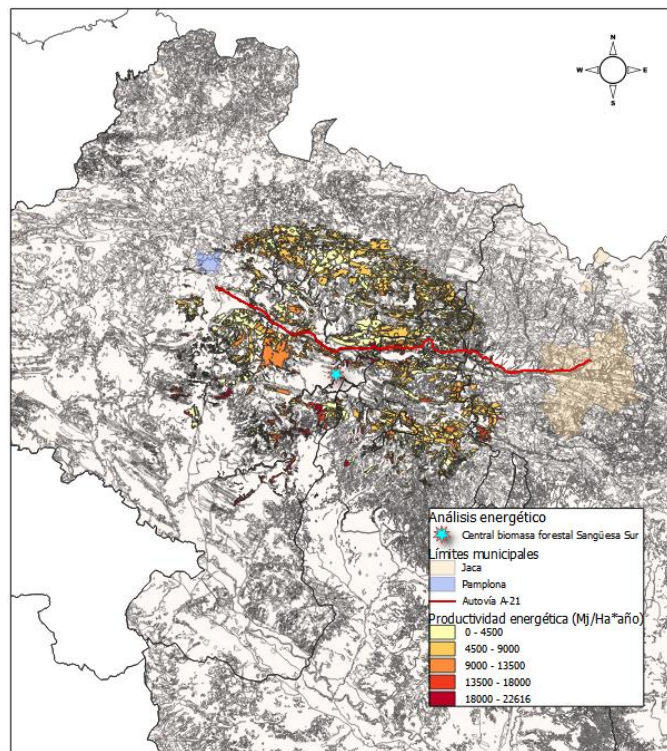


Figura 62: Análisis energético de las parcelas aptas. Área de influencia 50 km.  
Escenario 4: Sangüesa sur.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

Finalmente, según los datos obtenidos, la combinación óptima para el **escenario 4** es la instalación de 2 centrales del mismo tamaño una en el término municipal de Lumbier.





#### 4 ELECCION DE UBICACIÓN DE LA CENTRAL DE BIOMASA FORESTAL

En función de energías totales analizadas en cada escenario, se opta por elegir el **escenario 2 con la combinación Lumbier-Berdún** donde se combina la eficiencia de la recogida a 35 km y en la obtención de biomasa garantizando una cobertura amplia del área de influencia analizada. Además, esta elección flexibiliza una hipotética futura ampliación de la planta ya que, si no se cambian las restricciones aplicadas los lugares, seguirán siendo los más idóneos para llevar a cabo las instalaciones. A continuación, en la Tabla 15, se puede observar el resumen del escenario 2.

Escenario 2:	Área común (ha)	Total (MJ/año)	EA (MJ/h)	PA (kW)	PA (MW)	PA (MW)*Cr
Lumbier-Berdún	21155,20	702667189,10	80213,15	22281,43	22,28	16,71
Liédena-Berdún	23874,03	669157270,50	76387,82	21218,84	21,21	15,91
Sangüesa Norte-Berdún	22298,52	683632441,60	78040,23	21677,84	21,67	16,25
Sangüesa Sur-Berdún	22099,66	681946896,20	77847,82	21624,39	21,62	16,21

Tabla 15: Tabla resumen de la solución definitiva. Escenario 2.

Fuente: Elaboración propia.

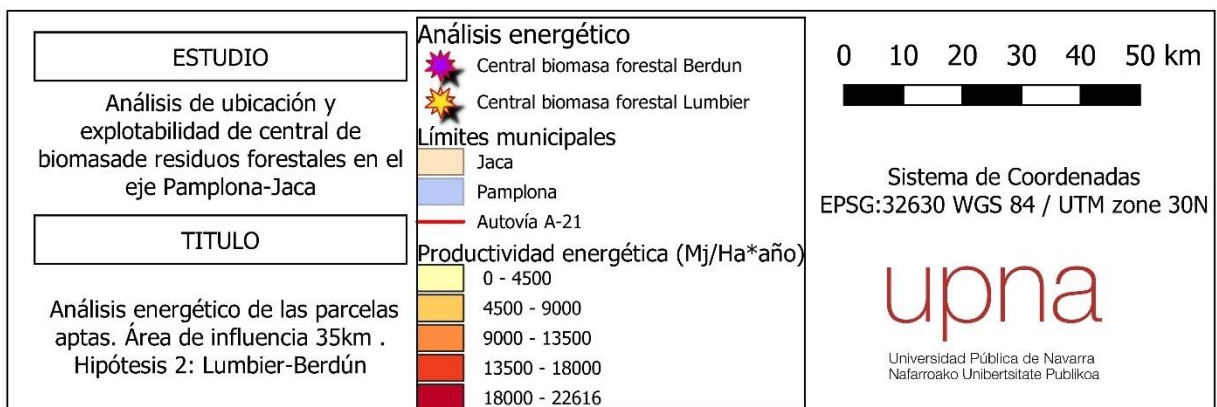
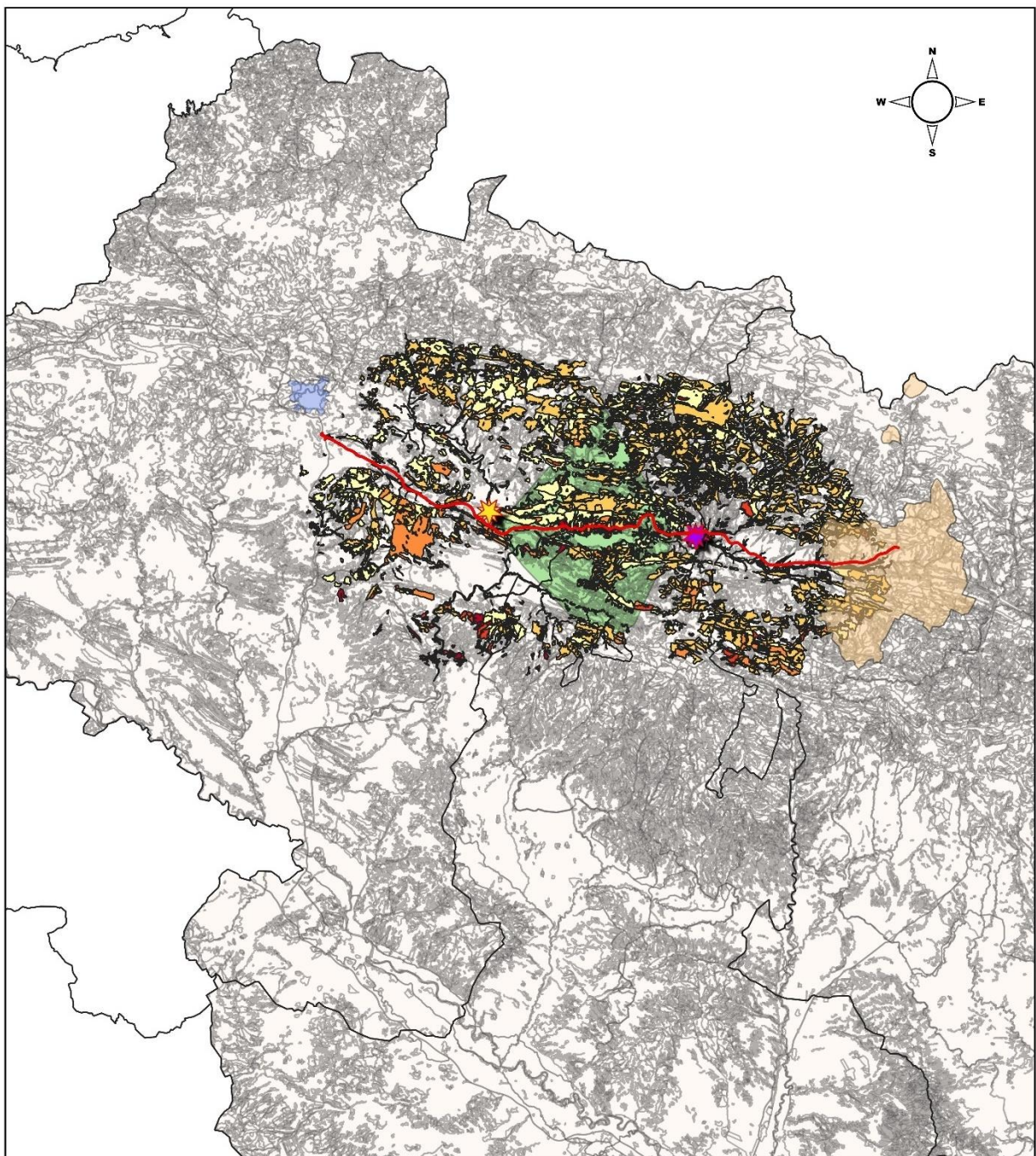
A continuación, se ha añadido a la memoria los mapas definitivos, uno global y otro en detalle, del **escenario 2: Lumbier-Berdún** para tener una visión más precisa.



ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN ÓPTIMA Y CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE  
PARA UNA CENTRAL DE BIOMASA FORESTAL RESIDUAL EN EL EJE PAMPLONA-JACA

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa



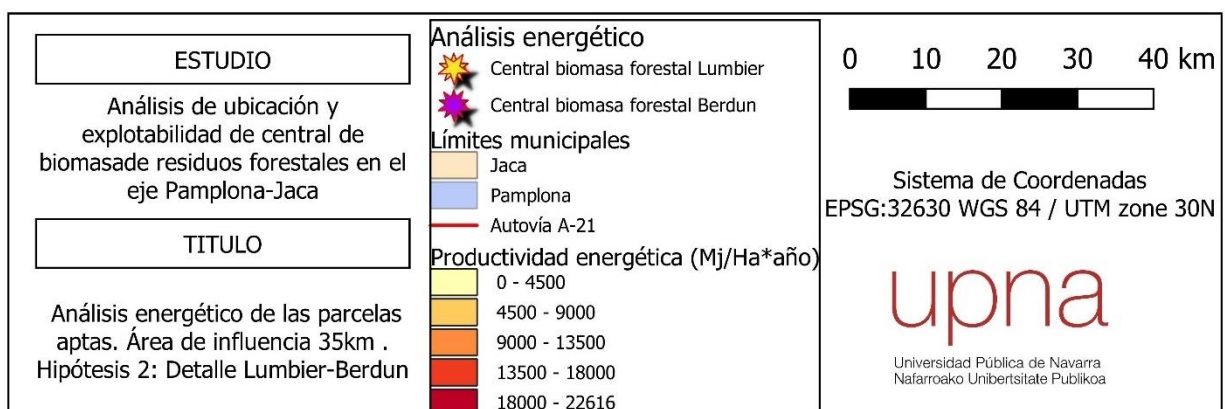
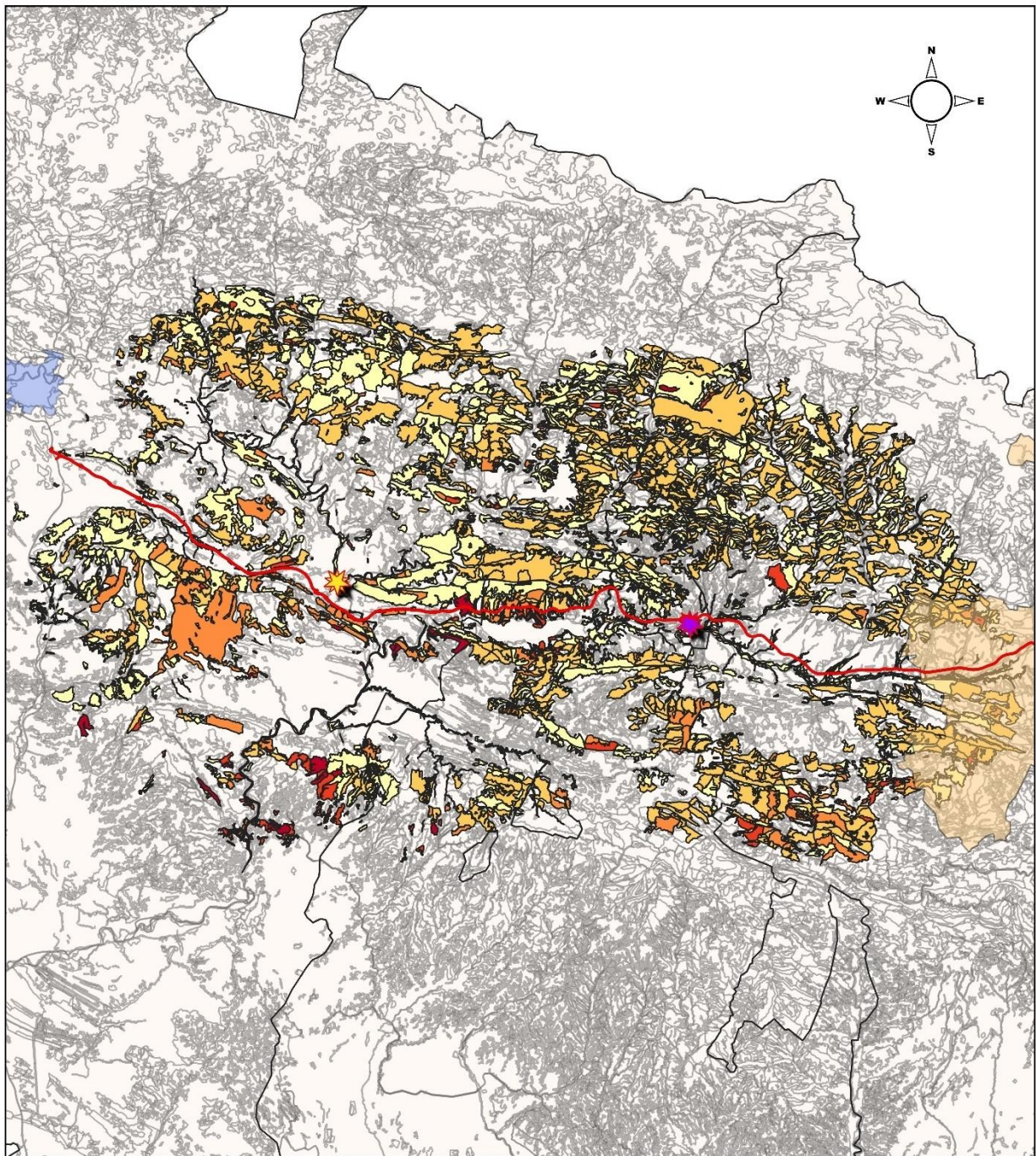




ANÁLISIS DE LA UBICACIÓN ÓPTIMA Y CÁLCULO DEL RECURSO DISPONIBLE  
PARA UNA CENTRAL DE BIOMASA FORESTAL RESIDUAL EN EL EJE PAMPLONA-JACA

upna

Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa





Una vez definidos los 2 lugares donde ubicar las centrales, se define en que parcela se realiza la instalación. Para confirmar que las parcelas elegidas están dentro de los parámetros, se han trasladado a Google Maps® como se puede ver la Figura 63.

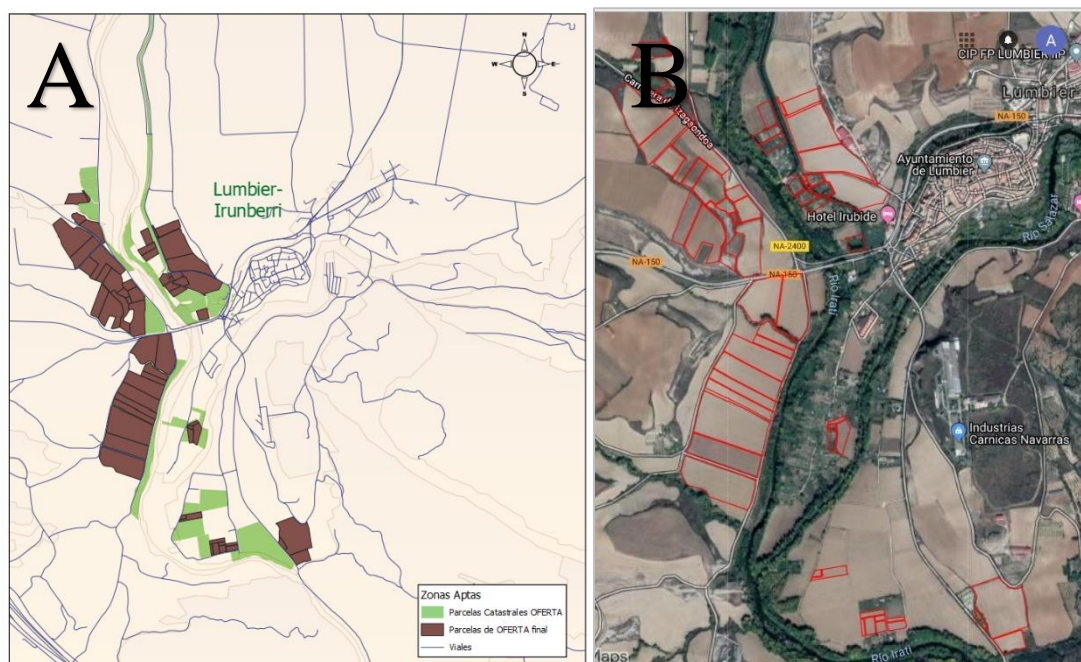


Figura 63. A: Intersección del conjunto de restricciones para una planta de biomasa forestal residual.

B: Parcelas catastrales oferta finales vs. Google Maps®.

Fuente: Elaboración propia en base a Google Maps®, MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón.

Una de las cosas a tener en cuenta a la hora de ubicar la instalación, es la necesidad de tener una campa relativamente grande para el almacenamiento de producto maderero debido a la baja densidad energética<sup>7</sup> del combustible forestal comparado con los combustibles fósiles que se estima en 1 kg fueloil de uso doméstico  $\approx$  3 kg de madera [39].

En el caso de la Central de Garray, dispone de unas instalaciones con un área total de 3,90 hectáreas, de las cuales, 1,90 son para almacenamiento y tratamiento del combustible. Teniendo en cuenta que esta central da 17 MW y que nuestra central como máximo (en el escenario 3) podría llegar a 9 MW, se obtiene un 0,1 ha por cada 1 MW para almacenaje y tratamiento del combustible leñoso.



Figura 64. A: Planta de biomasa forestal de Garray. B: Área total de la planta. C: Área destinada al acopio de biomasa forestal.

Fuente: Elaboración propia utilizando Google Maps® y EnergyNews.

<sup>7</sup> 1 kg fueloil de uso doméstico  $\approx$  3 kg de madera. Fuente: Asociación Española de valorización de biomasa (AVEBIOM)



En el caso de la central de Lumbier, se barajan 2 zonas para la ubicación de la central (Figura 65) con el objetivo de aprovechar el agua de circuito de refrigeración, previa adecuación de la misma, para usos de Agua Caliente Sanitaria (ACS) o para otros procesos industriales.

La primera zona está ubicada más cerca del núcleo urbano y podría abastecer tanto al hotel Irubide como a todo el barrio de debajo de Lumbier. La parcela elegida es de 2,27 ha y se tiene en cuenta que hay una parcela contigua de 2,26 ha para una hipotética ampliación.

La segunda zona, está más alejada del núcleo urbano y el agua de la refrigeración podría utilizarse para ACS de la fábrica de Industrias Cárnicas Navarras que colinda con las parcelas elegidas o para uso dentro del proceso industrial. La parcela elegida tiene un área máxima de 3,4 ha.

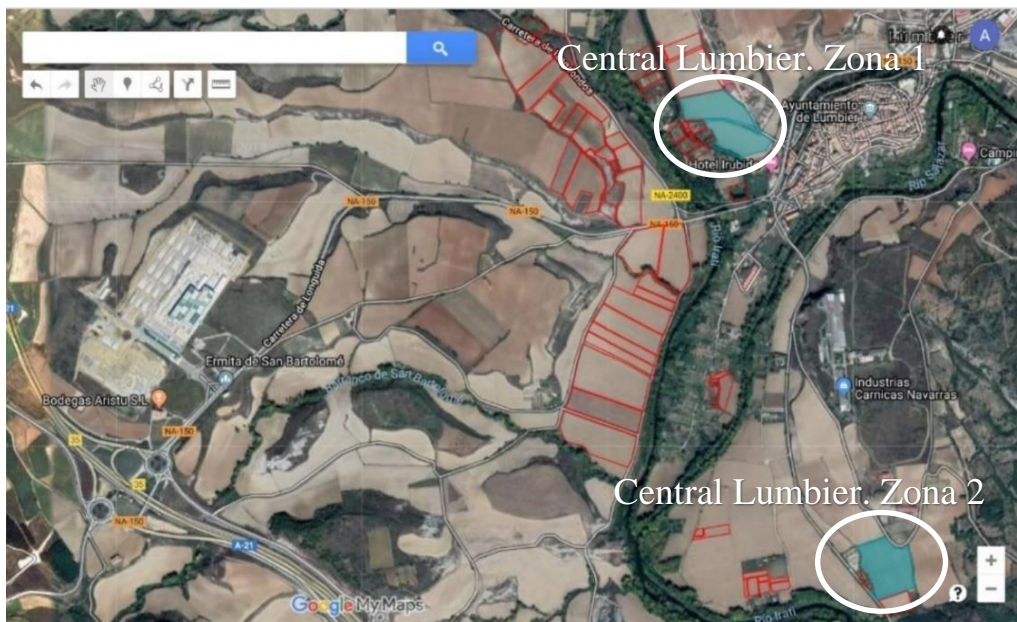


Figura 65: Lumbier: Parcelas catastrales elegidas vs. Google Maps®.

Fuente: Elaboración propia con datos Google Maps®, MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón.

En el caso de Berdún, se elige la parcela seleccionada en la Figura 66 debido a la complejidad geométrica de las otras 2 parcelas.

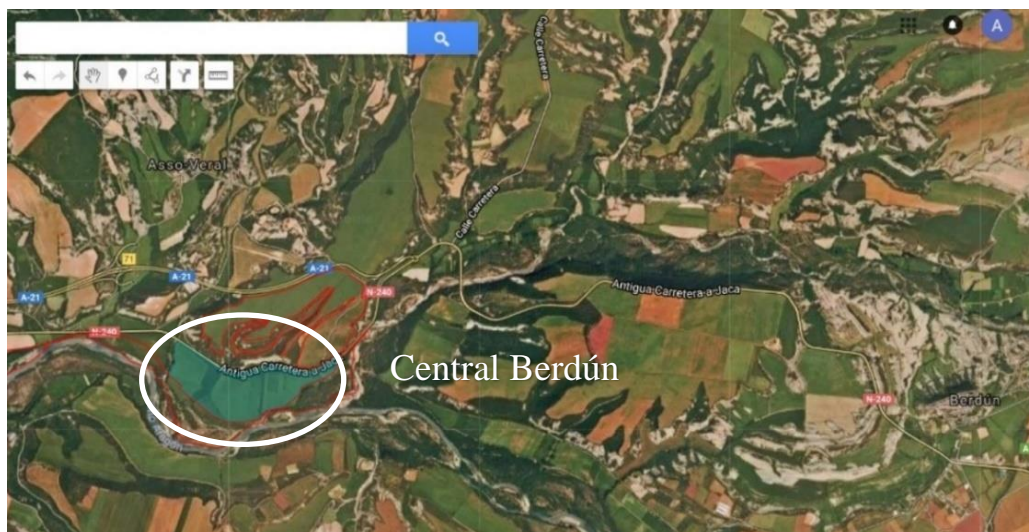


Figura 66: Berdún: Parcelas catastrales elegidas vs. Google Maps®.

Fuente: Elaboración propia con datos Google Maps®, MAPAMA, CHE, IGN y Gobierno de Navarra y Aragón.

#### 4.1 INFLUENCIAS EXTERNAS AL CÁLCULO

En este apartado, se han analizado 2 condiciones que pueden alterar la energía obtenida por las centrales en el escenario 2:

- Régimen administrativo diferente
- Influencia del Factor corrector de Mapa de productividad potencial forestal de la España peninsular (MPPE)

##### 4.1.1 Análisis de la gestión administrativa del residuo forestal

Debido a que la gestión de forestal de los montes es competencia de la Comunidades Autónomas (CCAA) [40] [41] y este análisis se realiza entre 3 provincias limítrofes, se realiza un pequeño análisis sobre la influencia administrativa en la gestión de los residuos forestales.

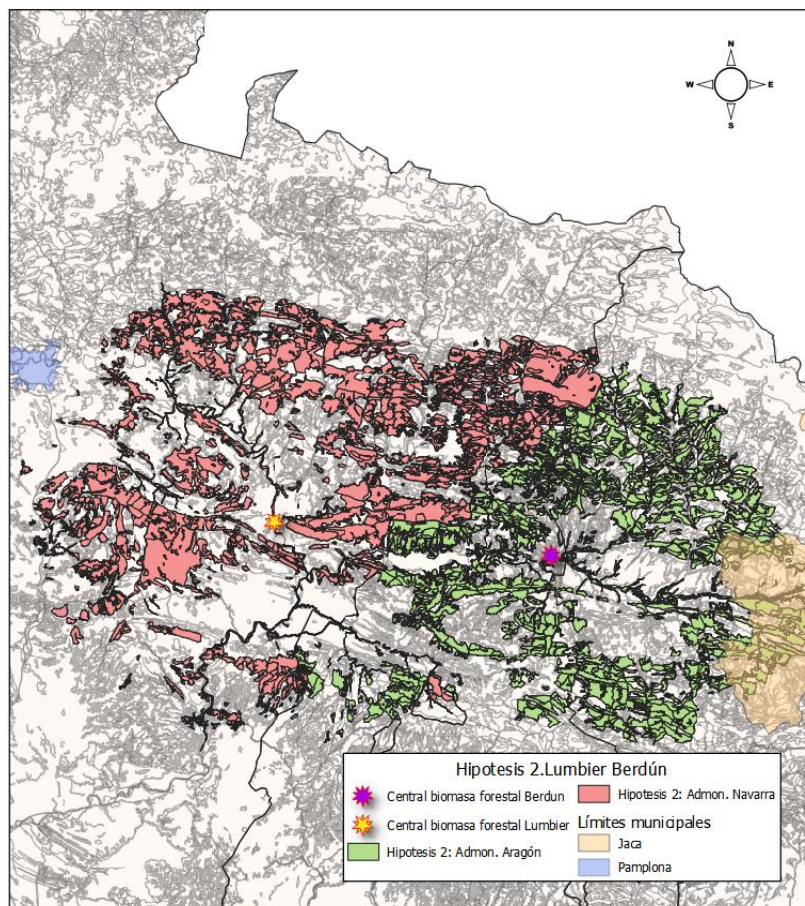


Figura 67: Régimen administrativo escenario 2: Lumbier-Berdún.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.



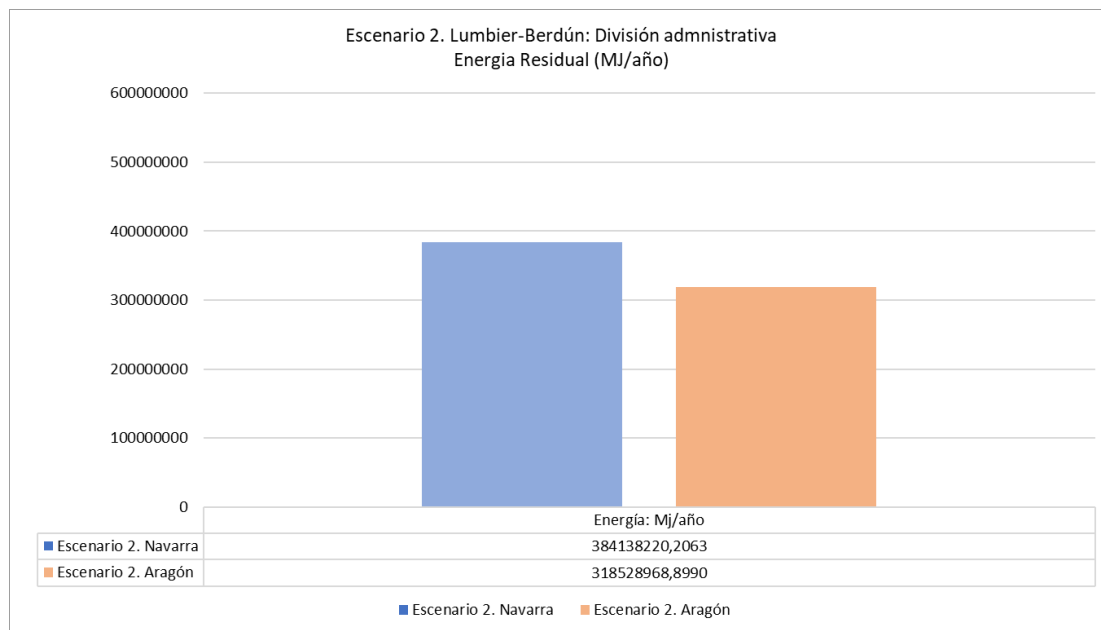


Tabla 16: Escenario 2: Lumbier-Berdún. Sin MPPFE vs. con MPPFE.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

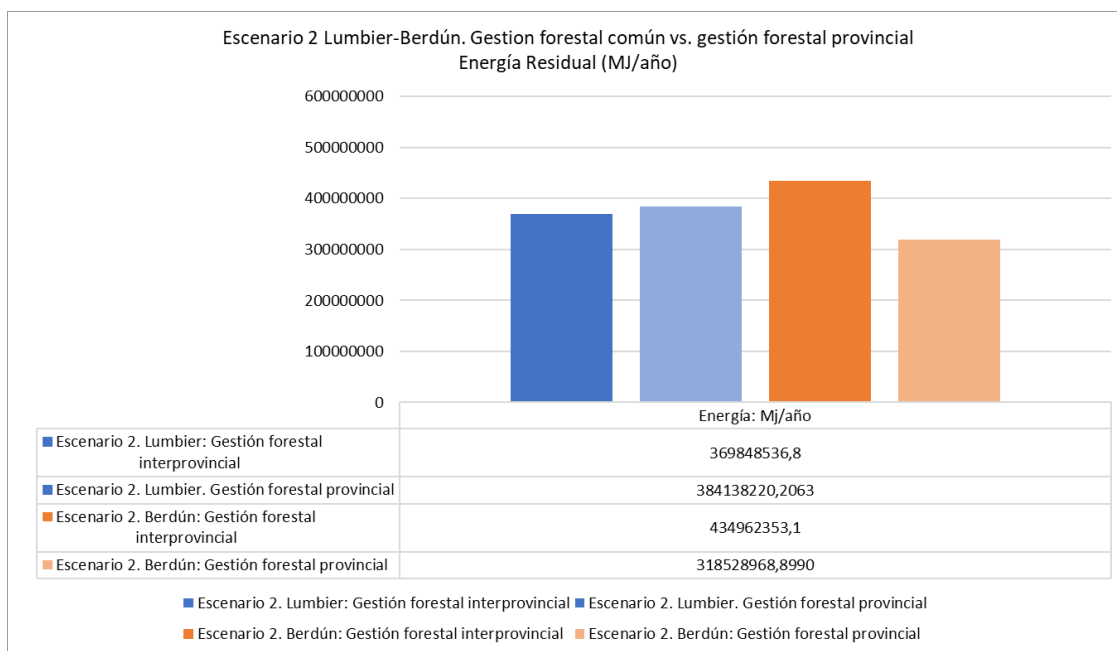


Tabla 17: Escenario 2: Lumbier-Berdún. Gestión forestal común vs. gestión forestal provincial.  
Energía residual (MJ/año).

#### 4.1.2 Análisis del Mapa de productividad potencial forestal de la España peninsular

Una vez obtenida la solución óptima, se ejecutan varios análisis en función tanto del Mapa de Productividad Potencial Forestal de España (MPPFE) de la Figura 68 [42] como se explica en el “Apartado 9” de Cálculos.

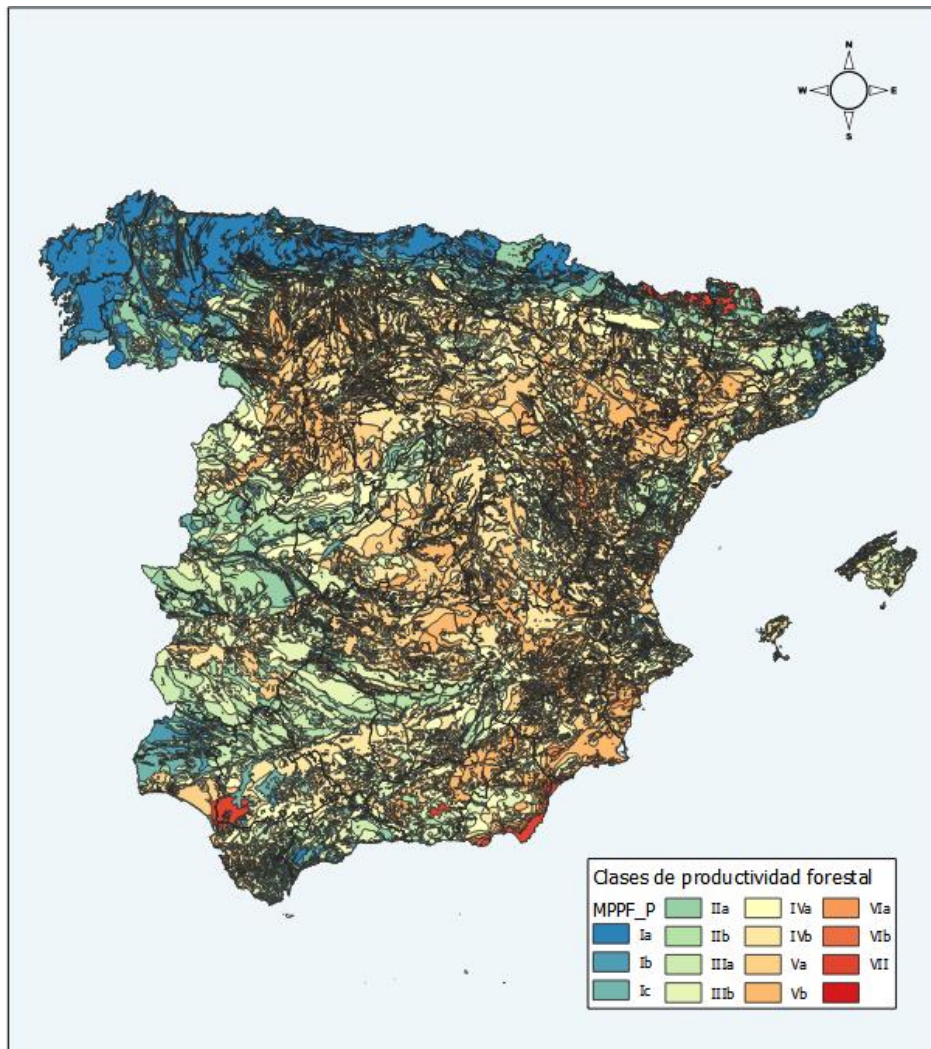


Figura 68: Mapa de productividad potencial forestal de la España peninsular.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del MAPAMA en base a Gangullo & Serrada, 1977.

Por otro lado, la posibilidad de biomasa está definida para cada especie y para toda España en general y por tanto, es variable en función de la ubicación geográfica. Por tanto, la calidad de la estación forestal queda definida por la *productividad potencial forestal*, la cual representa la máxima productividad expresada en m<sup>3</sup>/ha·año de madera teniendo en cuenta todas las restricciones que le imponen el suelo y clima. Su elaboración se llevó a cabo por **Gandullo y Serrada** a partir del Índice Climático de Paterson (1956) [42] modificado en función de la existencia de distintos substratos litológicos como se explica en “Apartado 9” de Cálculos.

La productividad potencial forestal se clasifica en diferentes clases en función de las limitaciones para el crecimiento de bosques productivos. Cada clase tiene asociado un rango de productividad en m<sup>3</sup>/ha·año, del cual se ha obtenido la media (valor de la clase), a partir de la cual se establece un coeficiente de corrección (coeficiente multiplicador de mayoración o minoración) que varía la cantidad de biomasa susceptible de ser aprovechable. A continuación, se definen las diferentes clases y la relación entre el tipo de clases y su factor corrector (Tabla 18).

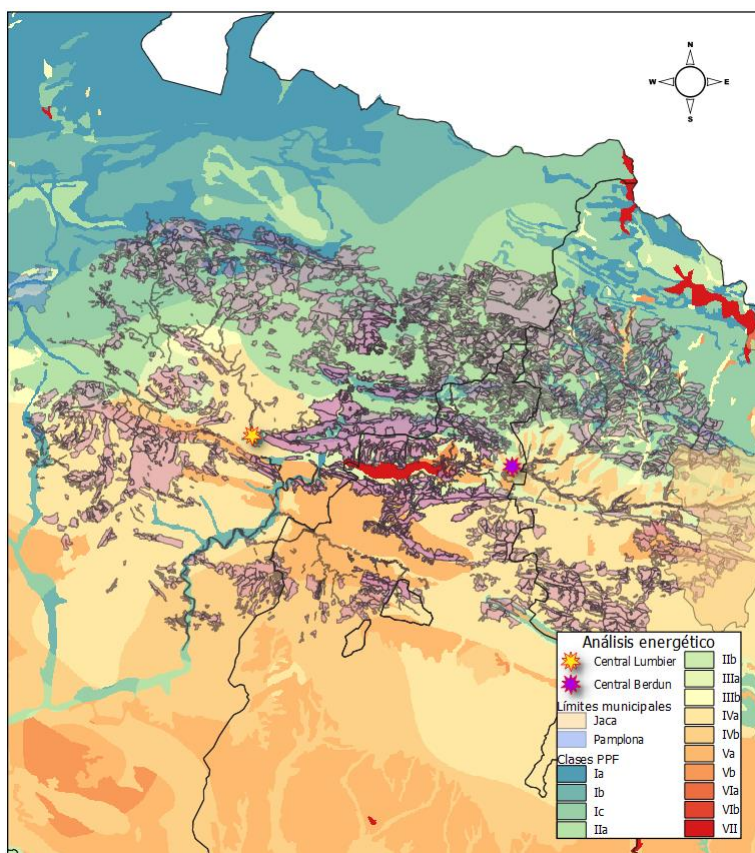
- **Ia, Ib y Ic.** Terrenos que no tienen limitaciones para el crecimiento de bosques productivos.
- **IIa y IIb.** Terrenos con limitaciones débiles para el crecimiento de bosques productivos.
- **IIIa y IIIb.** Terrenos con limitaciones moderadas para el crecimiento de bosques productivos.
- **IVa y IVb.** Terrenos con limitaciones moderadamente graves para el crecimiento de bosques productivos.
- **Va y Vb.** Terrenos con limitaciones graves para el crecimiento de bosques productivos.
- **VIa y VIb.** Terrenos con limitaciones muy graves para el crecimiento de bosques productivos.
- **VII.** Terrenos con limitaciones suficientemente graves como para impedir el crecimiento de bosques productivos.

Clase	Coficiente mayorante	Clase	Coficiente minorante
Ia	2,05	IVa	0,90
Ib	1,88	IVb	0,74
Ic	1,72	Va	0,57
IIa	1,56	Vb	0,41
IIb	1,39	VIa	0,27
IIIa	1,23	VIb	0,16
IIIb	1,06	VII	0,05

*Tabla 18: Productividad potencial forestal de España peninsular.*

*Fuente: Elaboración propia en base a datos del Evaluación del potencial de energía de la Biomasa. Estudio Técnico PER 2011-2020.*

En las siguientes figuras (Figura 69 y Figura 70) se observa las parcelas analizadas para las centrales de Lumbier y Berdún en la escenario 2 frente a el MPPFE de la zona.



*Figura 69: Análisis energético de las parcelas aptas. Escenario 2: Lumbier-Berdún. Parcelas finales vs. MPPFE.*

*Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.*



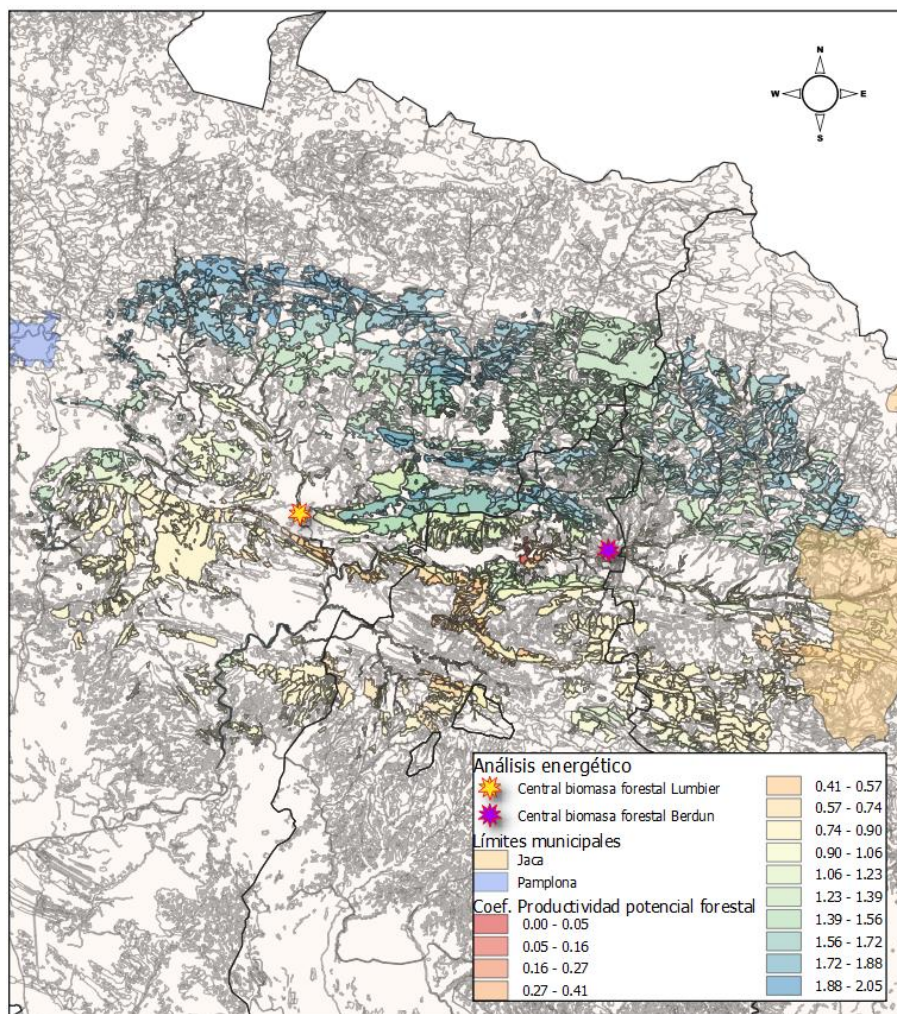


Figura 70: Análisis energético de las parcelas aptas. Escenario 2: MPPFE, Lumbier-Berdún.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

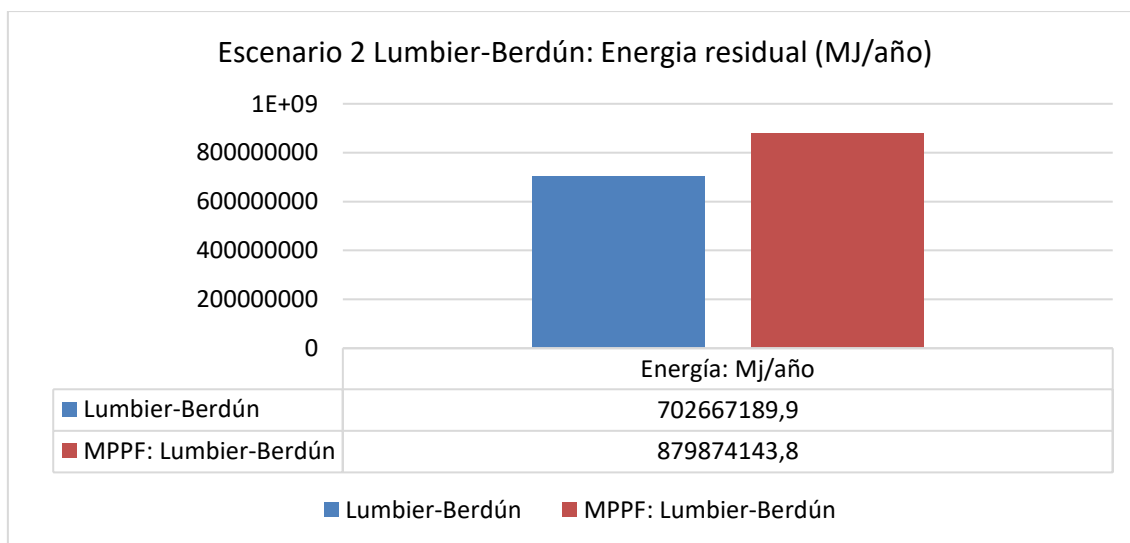


Tabla 19: Escenario 2: Lumbier-Berdún. sin MPPFE vs. con MPPFE.  
Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.

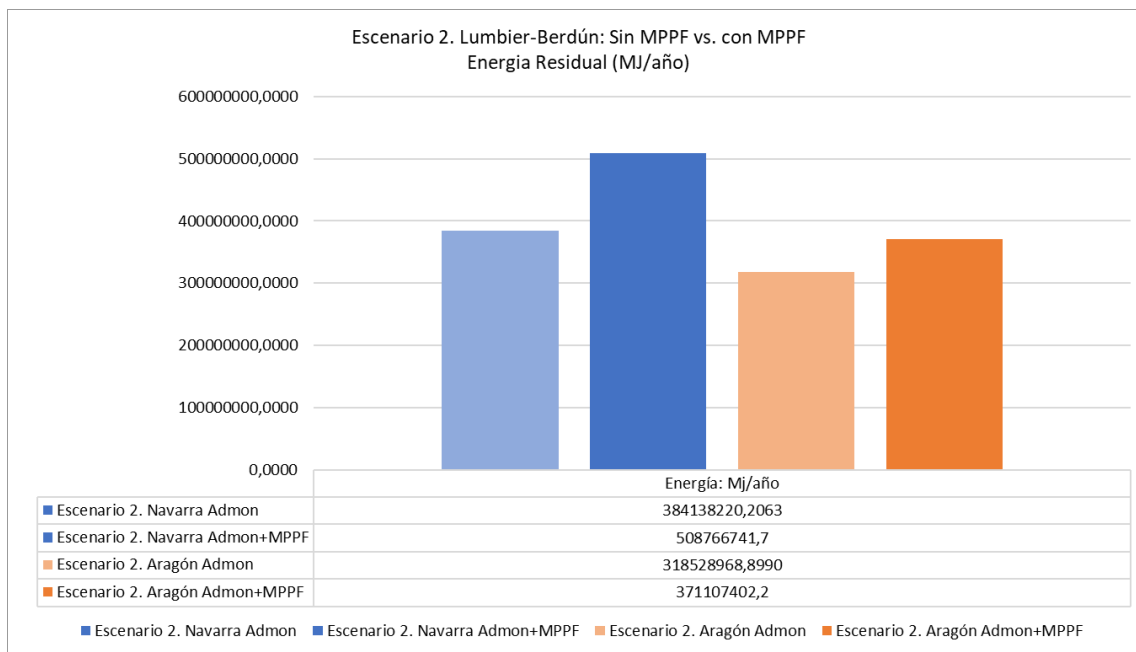


Tabla 20: Escenario 2: Lumbier-Berdún. CFN sin MPPFE vs. con MPPFE y Aragón sin MPPFE vs. con MPPFE.

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAPAMA.



## 5 CONCLUSIONES

A continuación, se muestra las principales conclusiones:

1. Se han obtenido 5 zonas sin restricciones para la instalación de la central de biomasa. De las 5 zonas, la combinación **Lumbier-Berdún** es la mejor combinación en términos de mayor cobertura. Por esta razón, se eligen ambos municipios para la instalación de 2 centrales de la misma potencia.
2. Una vez realizado el análisis del recurso disponible, la ubicación de **Lumbier** aparece como solución en los 4 escenarios propuestos.
3. Existe una correlación lineal entre los escenarios de máxima cobertura (50 km) y las hipótesis de máxima eficiencia (35 km). Al duplicar el área de influencia, se duplica la potencia final de la central.
4. Dos de los escenarios planteados (escenarios 2 y 3), presentan un área común de extracción. La conclusión que se deriva del análisis realizado es que una menor área en común no equivale ni a una mayor ni a una menor extracción de energía;
  - En el **escenario 2**, la combinación **Lumbier-Berdún**, alberga la mínima área común y, sin embargo, obtienen la mayor extracción de energía de las 4 combinaciones del escenario.
  - En el **escenario 3**, la combinación **Lumbier-Berdún**, aun teniendo la mayor área en común, obtiene la mayor extracción de energía de las 4 combinaciones del escenario.
5. Si se realizase un proyecto conjunto sin tener en cuenta el dominio administrativo de la gestión forestal, el balance energético favorecería a la administración navarra (mayor aprovechamiento energético en Navarra) y sería imposible instalar dos centrales de biomasa de igual potencia. En este nuevo escenario, la central de Berdún con límites administrativos bajaría su capacidad alrededor de un 27% debido a la cercanía de la central respecto a las masas forestales ubicadas en la CFN.
6. El eje Pamplona-Jaca, es una zona de transición entre terrenos con muy poca limitación para el crecimiento de bosques al norte y con ciertas limitaciones para el crecimiento al sur. Derivado de esta situación, la combinación Lumbier-Berdún tiene una perspectiva de aumento energético (en base al Coeficiente de Productividad Potencial Forestal) del 25% sobre la calculada en el presente estudio.

Iñaki Sánchez-Valverde Erice  
Pamplona-Iruña, septiembre de 2018





## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comisión Europea, «<https://ec.europa.eu>,» 2018. [En línea]. Available: [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es). [Último acceso: Julio 2018].
- [2] Parlamento europeo, «<http://www.europarl.europa.eu>,» Enero 2018. [En línea]. Available: <http://www.europarl.europa.eu/news/es/press-room/20180112IPR91629/energias-limpias-el-pe-reclama-objetivos-ambiciosos>. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [3] A. Massot, «<http://www.europarl.europa.eu>,» Comisión Europea, Abril 2018. [En línea]. Available: <http://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/104/la-politica-agricola-comun-en-cifras>. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [4] Unión por la Biomasa, «Balance socioeconómico de las biomásas en España 2017-2020,» AFI, Madrid, 2018.
- [5] REE, «Las energías renovables en el sistema eléctrico español,» REE, Madrid, 2017.
- [6] Departamento de industria e innovación, «Plan Energético de Aragón 2013-2020,» Gobierno de Aragón, Zaragoza, 2013.
- [7] ARESOL, «[www.aresol.com](http://www.aresol.com),» ARESOL, 2017. [En línea]. Available: <http://www.aresol.com/proyectos/gasificacion-biomasa-cinco-villas/>. [Último acceso: Julio 2018].
- [8] Europapress, «Europapress,» 10 11 2017. [En línea]. Available: <http://www.europapress.es/aragon/noticia-che-mejora-pistas-forestales-montes-gestiona-provincia-huesca-20171130131457.html>. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [9] El Periodico de Aragón, «El Periodico de Aragón,» 21 Julio 2011. [En línea]. Available: [http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/che-finaliza-mejoras-pistas-4-000-hectareas\\_688744.html](http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/che-finaliza-mejoras-pistas-4-000-hectareas_688744.html). [Último acceso: Septiembre 2018].
- [10] El Periodico de Aragón, «El Periodico de Aragón,» 24 Julio 2008. [En línea]. Available: [http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/plan-comarcal-arreglar-300-kilometros-pistas-caminos\\_427906.html](http://www.elperiodicodearagon.com/noticias/aragon/plan-comarcal-arreglar-300-kilometros-pistas-caminos_427906.html). [Último acceso: Septiembre 2018].
- [11] Gobierno de Navarra, «[Navarra.es](http://www.navarra.es),» 9 Mayo 2018. [En línea]. Available: [https://www.navarra.es/home\\_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2018/05/09/cerca+2+millones+euros+inversiones+mejora+espacios+forestales.htm](https://www.navarra.es/home_es/Actualidad/Sala+de+prensa/Noticias/2018/05/09/cerca+2+millones+euros+inversiones+mejora+espacios+forestales.htm). [Último acceso: Septiembre 2018].
- [12] P. F. d. Aragón, «Aragón Participa,» Gobierno de Aragón, 2018. [En línea]. Available: <http://aragonparticipa.aragon.es/plan-forestal-de-aragon>. [Último acceso: Septiembre 2018].
- [13] ADEMAN, «Informe anual del sector de la madera,» Pamplona, 2007.
- [14] J. García, P. Álvarez y J. Garrote, «Aplicaciones LIDAR,» de *Aplicaciones de QGIS en la ordenación de montes. Manual práctico*, Editorial academica española, 2016, pp. 127-128.
- [15] P. Muñoz, «Apuntes de Teledetección: Índices de vegetación,» Centro de información de Recursos Naturales (CIREN), Santiago de Chile, 2013.
- [16] Gobierno de Navarra, «Anexo 2 Análisis y mapas de riesgos forestales en Navarra A.2.1. Modelos de combustibles forestales (Fuel types),» de *PLAN DE PROTECCIÓN CIVIL DE EMERGENCIA POR INCENDIOS FORESTALES*, Pamplona, Gobierno de Navarra, pp. 45-60.
- [17] J. Domínguez, «3.2.3. Localización de centrales térmicas de Biomasa,» de *La aplicación de los SIG en el campo de las Energías Renovables*, Madrid, CIEMAT, 2002, pp. 93-97.
- [18] B. Velazque, «Situación de los sistemas de aprovechamiento de los residuos forestales para su utilización energética,» *Ecistemas*, pp. 77-86, Enero 2006.
- [19] C. de la Paz, «Restricciones de áreas para las instalaciones de biomasa,» de *Metodología SIG para la Localización de Centrales de Biomasa. mediante Evaluación Multicriterio y Análisis de Redes. Modelos de Localización-Asignación para el aprovechamiento de Biomasa Forestal*, Madrid, CIEMAT, 2013, pp. 35-38.
- [20] C. de la Paz, J. Domínguez y M. Pérez, «Restricción de infraestructuras viarias,» de *Metodología SIG para la Localización de Centrales de Biomasa mediante Evaluación Multicriterio y Análisis de Redes. Modelos de Localización-Asignación para el aprovechamiento de Biomasa Forestal*, Madrid, Ciemat, 2013, pp. 36-37.



- [21] D. Alonso, «<https://mappinggis.com>,» Mappinggis.com, 12 2015. [En línea]. Available: <https://mappinggis.com/2015/12/como-utilizar-la-calculadora-raster-con-una-mascara-en-qgis/>. [Último acceso: Julio 2018].
- [22] Red Natura 2000, «<https://www.mapama.gob.es>,» MAPAMA, [En línea]. Available: <https://www.mapama.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/default.aspx>. [Último acceso: Julio 2018].
- [23] Copernicus Global Land Service, «<https://land.copernicus.eu>,» [En línea]. Available: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [24] C. de la Paz, J. Domínguez y E. María, «C. de la Paz, J. Domínguez M<sup>a</sup>, E. Pérez. «»,» de *Metodología SIG para la Localización de Centrales de Biomasa mediante Evaluación Multicriterio y Análisis de Redes. Modelos de Localización-Asignación para el Aprovechamiento de Biomasa Forestal*, Madrid, Informes Técnico CIEMAT, 2013, p. 37.
- [25] G. Antolín, L. Gonzalez, S. Díez y A. López, «Evaluación del potencial de aprovechamiento de biomasa en Castilla y León,» *Cento de automatización, robótica y Tecnologías de la información y la fabricación (CARTIF)*, Valladolid.
- [26] Gobierno de España, «Art.42. Implantación de los regímenes de volúmenes y condiciones ecológicas mínimas,» de *Plan hidrológico de la cuenca*, Madrid, 87.
- [27] Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del territorio y Vivienda del Gobierno de Navarra, la empresa EKOLUR, S.L. y el IH Cantabria, Cálculo de Regímenes de Caudales Ecológicos en puntos de la Red Fluvial de Navarra, Pamplona: Gobierno de Navarra, 2014.
- [28] J. Alcaraz, El método del Caudal Básico para la determinación de Caudales de Mantenimiento aplicación a la cuenca del Ebro, Lleida: Universidad de Lleida, 2007.
- [29] CANASA, «[www.canasa.es](http://www.canasa.es),» Canal de Navarra S.A, 2014. [En línea]. Available: <http://www.canasa.es/proyecto/descripcion-canal-de-navarra>. [Último acceso: Julio 2018].
- [30] CHE, «<http://www.chebro.es>,» Confederación Hidrográfica del Ebro, 2009. [En línea]. Available: <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=2261&idMenu=2227>. [Último acceso: Julio 2018].
- [31] Gobierno de España, «Artículo 3.h Real Decreto 903/2010, de 9 de julio,» de *Evaluación y gestión de riesgos de inundación*, 2010.
- [32] G. d. España, «Apartado 1.3 Definiciones,» de *Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones*, Madrid, 1995.
- [33] J. J. Mayans, «Programa de gestión y tratamiento de la biomasa para su reconversión en combustible sólido empleado en la calefacción de edificios públicos del Ayuntamiento de Serra,» Universitat Jaume I, 2014.
- [34] MAPAMA, «Mapa Forestal de España. Escala 1:50.000. Descripción de los campos de la capa MFE50\_XX,» MAPAMA, Madrid, 2013.
- [35] R. Garañeda y J. Bengoa, «Estudio de disponibilidad de biomasa en seis zonas de Castilla y la Mancha,» Consejería de Medio Ambiente - Junta de Castilla y León, Valladolid, 2005.
- [36] V. C. Costa, «El turno forestal, la propiedad de los montes y la recepción de la fórmula de faustmann en España, 1849-1918,» 5 Febrero 2005. [En línea]. Available: <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-182.htm>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [37] IDAE, «3.1.1.2 Estimación de la biomasa,» de *Evaluación del potencial de energía de la Biomasa. Estudio Técnico PER 2011-2020*, Madrid, IDAE, 2011, pp. 22-24.
- [38] A. García-Martin, G. García, J. Pascual, J. De la Riva, F. Pérez-Cabello y R. Montorio, «Determinación de zonas adecuadas para la extracción de biomasa residual forestal en la provincia de Teruel mediante SIG y Teledetección,» *Geofocus*, pp. 27-28, 2011.
- [39] V. F. Eliseo y L. Zuccoli, «2.10 Equivalencias de energía,» de *Manual de Combustibles de Madera*, Valladolid, AVEBIOM, 2008, pp. 28-29.
- [40] Gobierno de Navarra, Reintegración y Mejoramiento del Régimen Foral de Navarra (LORAFNA), Pamplona: Gobierno de Navarra, Artículo 50 de la Ley Orgánica 13/1982, de 10 de agosto.
- [41] Gobierno de Aragón, DECRETO LEGISLATIVO 1/2017, de 20 de junio, sobre la Ley de Montes de Aragón (Ley 15/2006, de 28 de diciembre, Zaragoza: Gobierno de Aragón.



- [42] J. Gandullo y R. Serrada, Mapa de productividad potencial forestal de la España peninsular, Madrid: Instituto Nacional de investigaciones agrarias. Ministerio de Agricultura, 1977.
- [43] Gobierno de Navarra, «[www.navarra.es](http://www.navarra.es),» [En línea]. Available: <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/AF7F44C7-FB4E-4851-A935-7D1E5DC51B7D/248185/Ventajasdelusodelabiomasaforestal.pdf>. [Último acceso: Agosto 2018].
- [44] Ministerio de educación del gobierno de España, «[www.cnice.mec.es](http://www.cnice.mec.es),» 2006. [En línea]. Available: [http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad2/td\\_sig.htm](http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad2/td_sig.htm). [Último acceso: Agosto 2018].
- [45] B. U. Martin-Calero, «Introducción a la información geográfica,» SITNA, Pamplona, 2016.
- [46] D. Solé, «<https://www.aeeolica.org/>,» Ingeteam, 2010. [En línea]. Available: [https://www.aeeolica.org/uploads/documents/reoltec2010/DavidSole\\_INGETEAM.pdf?phpMyAdmin=nkH26XnGN7Ws3Rn1f-QjR33eVc7](https://www.aeeolica.org/uploads/documents/reoltec2010/DavidSole_INGETEAM.pdf?phpMyAdmin=nkH26XnGN7Ws3Rn1f-QjR33eVc7). [Último acceso: Julio 2018].